00106557

GOD
355.4
Vau/Foi
106557

THE
ASIATIC SOCIETY OF BOMBAY
Town Hall, Bombay.

00100557

Digitized with financial assistance from
Shri Brihad Bhartiya Samaj
on 31 October, 2019

ŒUVRES MILITAIRES DU MARÉCHAL VAUBAN.

TOME TROISIME,

CONTENANT

LE TRAITÉ DES MINES.

GOD
355.4
VaulFoi
106557

TRAITÉ DES MINES,

PAR LE MARÉCHAL VAUBAN.

NOUVELLE ÉDITION,

Revue, rectifiée, augmentée de développemens considérables, de notes, d'un Mémoire pour servir à la défense des places de guerre, et de plusieurs Planches.

PAR F. P. FOISSAC,

Général de division, ancien Chef de brigade au corps du Génie de la République Française.

Lx-e-11

106557

LIBRARY OF THE BOMBAY BRANCH OF THE ROYAL ASIATIC SOCIETY

A PARIS,

Chez MAGIMEL, Libraire pour l'Art militaire et les sciences et arts, quai des Augustins, près le Pont-neuf.

L'AN TROISIEME DE LA RÉPUBLIQUE.

AVANT-PROPOS
DE L'ÉDITEUR.

Le Traité des Mines de Vauban fut, comme son Traité de l'Attaque et de la Défense des places, le meilleur de son tems. En comparant sa théorie à celle des ingénieurs qui en ont écrit avant lui, l'on voit évidemment qu'il s'étoit attaché à la perfectionner, et que cette partie importante de la défensive lui dut aussi des progrès. Cependant c'est, de son Art, la partie qu'il a le moins bien développée.

Du tems de Vauban l'usage des mines étoit plus fréquent que de nos jours, parce que les places, plus opiniâtres dans la défense, ayant à combattre une artillerie beaucoup moins nombreuse que ne fut depuis celle qu'on employa contre elles, opposoient aux travaux des assiégeans le puissant moyen des contre-mines, et qu'alors il s'engageoit entre les deux partis, une guerre souterraine plus ou moins longue et meurtriere. Cette guerre avoit tellement ajouté à la résistance des places, qu'on sentit aisément qu'en la perfectionnant, on parviendroit à les fortifier de plus en plus, et à se rapprocher pour la tranquillité des états, de cet heureux équilibre dans lequel l'art, placé dans les mains du plus foible, résiste aux entreprises du plus fort.

Louis XIV, saisi de cette grande pensée, qui flatte et le despote jaloux de conserver ses conquêtes, ou ses usurpations, et le peuple libre qui veut lui défendre de franchir ses frontieres; louis XIV, dis-je, voulant donner plus de consistance à l'Etude pratique des mines, créa, en 1679, la premiere compagnie de Mineurs qui fût connue en France, et que Vauban dit avoir été commandée par la Mothe, ingénieur en chef, mais que Saint-Remy assure l'avoir été par Goulon. Ces compagnies se multiplierent par la suite, et furent de la plus grande utilité dans les différens sieges. Je laisse à Vauban les détails de leurs travaux, qui font partie de l'histoire des progrès de cet art. J'observerai seulement à cette occasion, que la seconde compagnie de mineurs, créée en 1695, après le siege de Montmélian, fut donnée au sieur Esprit, ingénieur; d'où il paroît qu'il avoit déja passé en principe, que cet art est inséparable de celui du génie, dont il est une partie intégrante, et, conséquemment, que les premiers fonctionnaires en devoient être pris parmi les ingénieurs. L'ambition, qui sacrifia toujours à ses misérables calculs ceux de l'intérêt public, sépara cependant des fonctions de l'ingénieur celles du mineur, dès que les compagnies de ceux-ci furent assez nombreuses pour former entre elles un corps séparé, dont le comman-

dement en chef pût flatter un faiseur à prétentions. C'est en 1758 que Gribeauval s'empara de ce corps, et les talens de cet officier, qui, quoique réels à plusieurs égards, étoient au-dessous de sa réputation et contestés par ses propres camarades, ne justifierent pas l'abus qu'il fit du crédit qu'ils lui avoient acquit, en altérant la constitution primitive des Mineurs, pour se créer une place importante, dans laquelle il ne rendit en échange aucun service éclatant.

A mesure que, dans l'établissement de l'école de Verdun, ce chef sembloit s'attacher à donner plus d'attention et de développement à l'étude des mines, les mineurs furent réellement moins employés à la guerre. Il est vrai que la guerre n'offrit pas, depuis 1758 jusqu'à la paix de 1763, de fréquentes occasions d'employer cet art, et que la méthode vandalique des bombardemens, employée nouvellement dans la guerre des princes de l'Europe contre la liberté de la France, attaque les villes de guerre à un éloignement qui n'a pas permis d'employer contre les assaillans le jeu des contre-mines : heureusement l'effet, d'abord effrayant, de ces gréles de bombes et de boulets enflammés, s'attenue à mesure qne la valeur plus calme, le considere de plus près, et se familiarise avec les moyens faciles d'en prévenir les ravages jusqu'à un certain point; et déja les habitans immortalisés de la

place de Lille, ont appris à l'univers étonné, que les François savent au dix-huitieme siècle, opposer la constance à la férocité, et voir brûler leurs foyers sans céder à l'injuste esprit de domination. Ils ont fait revivre la gloire de ces généreux habitans de Sagunte, de Platée, de Lillibée, qui honorent encore à nos yeux les souvenirs de l'antiquité militaire, en nous apprenant de quel dévouement sont capables, dans tous les tems, les citoyens d'une ville populeuse et portée vers l'héroïsme par l'amour de la liberté. Si les mêmes effets ne se sont pas également manifestés dans nos autres places bombardées, ce n'est sans doute pas que les vrais François n'y fussent les émules des défenseurs de Lille, mais parce que ces places mal pourvues de vivres et de casemates, plus resserrées, et conséquemment battues dans un cercle plus étroit, offroient moins d'abris et ne pouvoient, par le nombre de leurs habitans, opposer la même masse de résistance, les mêmes ressources pour braver ou éteindre les flammes. Quoi qu'il en soit, que cette barbarie se prolonge, ou qu'elle cesse par son inutilité contre le vrai courage, il est à croire que nous n'en aurons pas moins, à l'avenir, des occasions d'employer l'usage des mines : dans les villes que nous défendrons, nos ennemis seront forcés, malgré leurs bombes, de venir s'asseoir sur

nos breches, sur nos fourneaux de contre-mines; et, dans les places que nous attaquerons, si elles nous opposent une résistance égale, nous saurons aussi déjouer nos rivaux jusque sous terre.

Déja le gouvernement françois a rendu cet art à sa primitive institution, en le réincorporant dans celui du génie; et rien ne permet de douter que bientôt les relations de service seront telles, que l'ingénieur et l'officier de mineurs ne seront, comme autrefois, qu'un même individu: car, si les deux théories se confondent, les artistes doivent se confondre de même, pour prévenir l'affoiblissement qui résulte toujours de la production des effets dont les agens sont divisés.

D'après cela, ce seroit sans doute le moment de publier une théorie complette sur cette matiere, perfectionnée depuis Vauban, par différens auteurs. Il seroit particulièrement à désirer qu'elle fût rédigée en un corps de science méthodique et bien ordonné. Valiere, officier d'artillerie justement célebre, Cormontagne, officier du génie, non moins connu par ses immenses travaux, Bélidor, mathématicien, qui a beaucoup écrit sur l'art défensif et sur les constructions militaires, et qui put, à des connoissances théoriques solides, réunir de nombreuses expériences sur les effets des mi-

nes; Le Blond, dont les productions sur l'art fortifiant ne sont pas moins volumineuses; Etienne, ingénieur d'un comte allemand; Le Fevre, ingénieur prussien; enfin de Lorme, officier de mineurs français, sont autant d'auteurs qui ont traité la science des mines, avec plus ou moins de succès, et dont les travaux ne demanderoient que d'être rapprochés et liés entre eux. J'eusse entrepris cette tâche, si les occupations à la guerre pouvoient se concilier avec un pareil travail; mais la tranquillité nécessaire aux méditations ne se trouve qu'au sein de la paix, et je suis forcé de remettre à cette époque l'ouvrage que je médite depuis plusieurs années sur cette partie importante de l'art défensif. En attendant, je profite de quelques loisirs que je dois au malheur, pour ajouter à la théorie des mines de Vauban, les principales idées qui peuvent être utiles. Toujours fidele au respect que j'ai pour les œuvres de ce grand homme de guerre, je laisse sa théorie toute entiere, car je craindrois d'en altérer l'ensemble en intercalant trop fréquemment dans la matiere qui lui appartient, les observations, et les developpemens que je pourrois y placer. Je me permets seulement des Notes, et je renvoie à la suite de son traité ce que je puis y ajouter en ce moment. Il en résultera, sans doute, moins de suite, moins

d'ensemble et d'ordre ; mais j'ai dû préférer ce défaut à la hardiesse de morceler l'ouvrage de mon auteur, et j'ai pensé que l'intelligence du lecteur suppléeroit aisément à un meilleur classement des idées. Enfin, par une suite de ce respect dont je parle, j'ai réparé le tort de quelques spéculateurs typographes, qui avoient séparé les deux parties de la théorie des mines de Vauban. Je ne me suis pas même permis de retrancher de la seconde quelques répétitions sur les mêmes opérations, quoique l'on pourroit être fondé à croire que ces répétitions tiennent à l'altération des manuscrits, que différens auteurs ont amalgamés, et fondus à leur maniere. Cette déférence réligieuse pour les imperfections mêmes, me semble nécessaire pour connoître les progrès des arts, et laisser aux auteurs leur réputation telle qu'ils l'ont méritée par leurs œuvres.

Les seules suppressions que je me suis permises, consistent en quelques Figures ou parties de Figures, afin de diminuer le nombre des Planches. Pour ce même objet, j'en ai réduit d'autres à une plus petite échelle, etc.

A la suite des additions au Traité des Mines, j'insere dans ce volume un Mémoire sur quelques moyens qui me paroissent propres à augmenter la force des places de guerre, en opposant de grands obstacles à l'établissement

du Mineur, et des batteries de breche de l'assiégeant. Sans doute, ces idées trouveront des contradicteurs : c'est le sort de toute pensée neuve. Mais en les exposant avec cette défiance qui convient à la médiocrité de mes talens; en offrant un Essai aux militaires, au lieu de leur donner un systême, je ménage à une critique éclairée tous ses droits, en ravissant au moins à ces censeurs qui savent blesser l'auteur mieux qu'éclairer la matiere, la satisfaction de triompher d'une vanité dont je sens que je dois d'avance me dépouiller moi-même à leurs yeux; et toujours sera-t-il certain que ce sera des essais en ce genre, seul, que pourra éclore cet équilibre qu'il est si dérirable de rétablir entre l'attaque et la défense des places fortes. Sous ce rapport, les erreurs ont leur utilité : et, malgré les censeurs, je soutiens qu'il n'est pas jusqu'à la fortification perpendiculaire qui n'ait mérité quelques justes éloges à son auteur, en indiquant les routes qu'il faut éviter.

PRÉFACE

DE

L'ANCIEN ÉDITEUR.

L'ESTIME particuliere que le public a toujours faite des ouvrages du maréchal *Vauban*, et l'approbation qu'il a donnée à son *Traité de l'Attaque* et à celui *de la Défense des places*, m'a engagé à rechercher avec soin tout ce qu'on pourroit retrouver encore des écrits de ce grand Ingénieur. Mes peines, long-tems infructueuses, m'ont procuré enfin le *Traité Théorique et Pratique des Mines*, qui forme la plus grande partie de ce troisieme volume de ses œuvres. Vauban avoit dessein de le travailler de nouveau, et de l'augmenter considérablement, si d'autres occupations plus sérieuses ne l'en avoient empêché : tout imparfait qu'il est, je l'offre aux militaires et aux personnes de l'art, comme un fragment précieux, digne à bien des égards de la haute réputation que son illustre auteur s'est acquise à si juste titre. Il s'agit à présent d'exposer en peu de mots ce qui fait le sujet de cet ouvrage, et de rendre compte de quelques changemens ou transpositions que j'ai faites dans cette nouvelle Édition, pour placer chaque matiere dans l'endroit qui lui convient.

Ce Traité des Mines est divisé en deux parties.

Dans la premiere on expose une théorie de la poudre, avec une introduction à la connoissance des Mines, suivie de quelques principes sur la forme de leur excavation, sur la charge de poudre qui leur convient relativement à la hauteur des terres à enlever, et sur les différentes especes de Mines dont on fait usage dans la guerre des sieges. Cette théorie, et ces principes sur les Mines, étoient confondus dans les Éditions précédentes du *Traité de l'attaque des places*, avec ceux qui regardent proprement l'Attaque, et avec les regles et les maximes qui ont rapport à la Défense des places. Comme ces trois matieres différentes font à présent trois volumes séparés, j'ai cru devoir restituer à chaque ouvrage particulier de Vauban ce qui lui appartenoit. En conséquence, j'ai inséré dans le Traité de la Défense des places, les huit Chapitres qui formoient ci-devant la seconde partie du Traité de l'Attaque, d'autant plus que la plus grande partie de ces Chapitres sur la Défense, n'étoit qu'un extrait de ce qui s'est trouvé dans le manuscrit de Vauban, sur cette même matiere que je viens d'imprimer. Dans la même intention, j'ai mis à la tête de ce *Traité des Mines*, les cinq Chapitres sur les Mines, qui se trouvoient placés mal à propos au milieu du même *Traité de l'Attaque des places*, et qui en interrompoient la suite.

Comme dans l'Attaque et la Défense des places on a très souvent besoin d'avoir recours aux Mines, Vauban, dans la premiere partie de ce Traité, après avoir parlé de la fabrication de la poudre, fait di-

verses réflexions sur ses effets. Avant ce célebre ingénieur, on avoit toujours agi par estimation au sujet de la quantité de poudre nécessaire pour la charge des mines ; mais à force d'étude et d'expériences, ce grand homme est parvenu à réduire cet art à des regles certaines. Les moyens qu'il donne pour trouver la mesure des chambres d'une mine, et la quantité de poudre qui leur convient, sont très simples, quelque différence qu'il y ait dans le terrain qu'on veut ouvrir, renverser, ou faire sauter.

L'auteur explique ensuite la nature et les effets de la *Mine* : il enseigne en quel tems, de quelle maniere, et avec quelles précautions on doit attacher le mineur à l'ouvrage attaqué ; par quel travail, par quelle ruse, et par quelle sorte de feu le mineur de la place peut chasser ou tuer le mineur de l'assiégeant, et quelles sont toutes les sortes de chicanes qui peuvent s'exercer dans la guerre souterraine qui se fait de mineur à mineur : il indique enfin ce qui reste à faire, et comment il faut agir après que la mine a joué.

La seconde partie de cet ouvrage renferme une application des principes établis dans la premiere partie, à la pratique des mines. On y donne des Tables de la charge des mines pour les différentes sortes de terrains ; indépendamment de celles qui étoient déja dans la premiere partie. Les mineurs et les praticiens retireront une grande utilité de ces tables, sur l'exactitude desquelles on peut compter, puisqu'elles sont le résultat d'une théorie très sa-

vante et très recherchée. Cette seconde partie est terminée par un grand nombre d'épreuves sur les Mines, et d'expériences faites en diverses occasions, et dans des terrains de nature très différente.

Pour que l'on puisse joindre ce dernier ouvrage de Vauban aux deux premiers volumes de ses œuvres qui renferment, l'un le *Traité de l'Attaque*, l'autre celui *de la Défense des places*, je l'ai imprimé de même format et du même caractere que les autres, dont il fait naturellement une suite nécessaire. Quant aux dessins, ils ont été réduits et gravés avec toute l'attention possible; mais comme dans les Planches relatives à la seconde partie de ce volume, on a été obligé de se servir de plusieurs échelles différentes pour les figures d'une même planche, afin de ne pas augmenter le prix de l'ouvrage par une dépense inutile; on a remédié à ce léger inconvénient, si toutefois c'en est un, en ajoutant à chaque figure sa mesure, ou le nombre de toises et de pieds qu'elle contient: c'est pourquoi l'on ne doit pas être étonné de trouver quelquefois des figures, dont les dimensions paroissent plus grandes que celles d'une autre qui occupe moins de place, quoique plus grande en effet, mais qui auroit occasionné une nouvelle planche, et par conséquent multiplié les frais, si l'on avoit absolument voulu donner à toutes une juste proportion entre elles; ce qui est d'autant moins nécess ire, qu'il n'y a guere plus que trois ou quatre planches qui ont rapport ensemble, toutes les autres pouvant être considérées comme isolées, et faisant un corps de figures à part.

On a lieu de se flatter que le public ne sera pas moins content du *Traité de la Guerre en général* (1), que nous lui offrons, tant pour lui faire plaisir, que pour donner à ce volume un peu plus de corps, et le proportionner aux deux premiers. Quoiqu'il ne soit pas de Vauban, il ne laisse pas d'être de fort bonne main; et les gens du métier jugeront aisément en parcourant quelques articles, que l'auteur n'en étoit plus à son apprentissage. En un mot, c'est un officier aussi distingué par ses services, que par son rang dans les armées de France, qui en est l'auteur. Pour ce qui est de l'arrangement des matieres, il est assez conforme à l'ordre que *Quincy* a observé dans son *Art de la Guerre*. Notre auteur, après quelques notions générales, parle aussi de tous les emplois militaires, depuis le chef d'armée jusqu'au simple soldat, et entre ensuite dans le détail de plusieurs des plus importantes opérations de la guerre; mais, pour peu que l'on connoisse l'ouvrage de Quincy, on reconnoîtra sans peine la grande différence qu'il y a de l'un à l'autre. On ne s'amusera point ici à en faire voir la disparité, parce qu'il sera très facile à quiconque voudra se donner la peine de confronter ensemble quelques articles pris au hazard, de s'appercevoir que l'auteur de ces observations est infiniment éloigné d'avoir copié Quincy. Il suffira de dire que ce Traité est moins un commentaire ou une amplification de

(1) Nous avons supprimé ce Traité, déplacé dans un ouvrage du genre de celui-ci, pour y substituer des matieres relatives à son sujet.

de son *Art de la Guerre*, qu'un véritable supplément, dans lequel on trouve une infinité de choses que Quincy n'a seulement pas touchées, et même plusieurs dont l'utilité est relevée par l'agrément de la nouveauté.

Au reste, comme tout ce qui vient de la main de Vauban est excellent, même jusqu'aux moindres fragmens, on finira cette préface par un petit *Discours* de ce célebre ingénieur *sur l'utilité des places fortes.*

« Si les sieges et la prise des places ennemies nous « rendent maîtres de leur pays, la fortification nous « en assure la possession, et peut garantir nos fron- « tieres des suites fâcheuses de la perte d'une ba- « taille, qui, sans ces précautions, pourroit donner « lieu à l'ennemi d'étendre fort loin les avantages de « sa victoire. Nous en avons dc grands exemples en « France, dans les Pays-Bas, en Allemagne, et « même en Espagne, tous pays dont les frontieres « sont assurées par quantité de bonnes places, prin- « cipalement les Pays-Bas, où il y a peu de villes « qui ne soient fortifiées. Tout le monde sait assez « le tems qu'il y a qu'on y fait la guerre, sans qu'on « ait jamais pu les conquérir totalement (1); et qui « voudroit faire attention sur ce qui s'y est passé « depuis deux cents ans, trouveroit qu'on y a donné « plus de soixante batailles, et fait plus de deux

(1) Ils ont été deux fois conquis dans la guerre présente, parce que les places fortes ont été détruites : les batailles de Jemmappe, de Nerwinde et de Fleurus, ont décidé de son sort.

« cents sieges de places, sans pouvoir les réduire « entièrement.

« La raison est, que les places fortes arrêtent « les poursuites de l'armée victorieuse, servent « d'azyle à celle qui a été battue, et donnent « moyen de tirer la guerre en longueur. Pendant cet « intervalle il arrive toujours des conjonctures bi- « zarres, et des changemens dans les intérêts des » Etats voisins, naturellement alarmés des heu- « reux progrès [illegible] uns des autres, qui donnant « de la jalousie aux meilleurs amis, les portent à « ne plus assister le vainqueur, ou à ne l'aider « que foiblement, et même quelquefois à changer « ouvertement de parti.

« Ce que je viens de dire est arrivé si fréquem- « ment dans ces derniers tems, qu'on a souvent « vu les conquérans arrêtés au milieu de leur « course, et contraints de passer de l'offensive à « la défensive, dans le tems que la gloire de leurs « armes sembloit leur promettre les plus grands « avantages. Ces incidens ont été quelquefois suivis « de fâcheux revers, par où le conquérant s'est vu « obligé de faire la paix à des conditions onéreuses, « et de restituer tout, ou la meilleure partie de ce « qu'il avoit gagné au prix de tant de pays ruinés, « et de tant de sang et de trésors.

« Si l'on vouloit pousser cette matiere plus loin, « et repasser ce qui est arrivé dans le monde de- « puis que les hommes ont commencé à rédiger par « écrit l'histoire de tant de guerres différentes, « on trouveroit, qu'il a fallu beaucoup moins de

» tems et d'efforts pour se rendre maître de toute « l'Asie qu'il n'en a fallu pour conquérir seulement « une partie des Pays-Bas, qui tous ensemble ne fe- « roient pas, à beaucoup près, la centième partie « de l'Asie. La raison en est évidente : c'est qu'une « bataille dans les Pays-Bas n'a pour l'ordinaire que « peu de suite (1). La poursuite d'une armée battue « ne s'étend pas au-dela de deux, trois ou quatre « lieues au plus ; parce que les places voisines des « ennemis arrètent les victorieux, donnent retraite « aux vaincus, les empèchent d'ètre totalement rui- « nés, et font qu'à l'abri de leurs remparts ils se « raccommodent en peu de tems ; pendant que « d'un autre côté elles obligent l'armée victorieuse « à se contenter de sa supériorité le reste de la « campagne, ou au plus, de la prise d'une place, « qui lui coûte beaucoup, l'affoiblit considérable- « ment, et donne le loisir aux ennemis de rentrer « en campagne, et d'occuper certains postes qui « mettent des bornes aux progrès du vainqueur.

« Mais dans ces vastes pays où il n'y a point, ou « que fort peu de places fortes, les victorieux « poussent l'armée vaincue jusqu'à ce qu'elle soit « entièrement dissipée ; ce qui est ordinairement « suivi du saccagement des provinces, qui se « trouvent par-là forcées à recevoir la loi du con- quérant.

(1) C'étoit ainsi du tems de Vauban : quel argument pour les places fortes ? Nos places de seconde et troisieme ligne seules, ont empêché l'ennemi de pénétrer jusqu'à Paris, après la perte de Valenciennes, Condé, Quesnoy, Landrecies et le désordre du camp de César.

« conquérant. C'est précisément ce que fit Alexandre, « qui moyennant trois batailles se rendit maître de « la redoutable monarchie des Perses ; et on voit « la même chose en César, lorsqu'il eut conquis « les Gaules ; car, après le gain d'une ou de deux « batailles, il s'empara de tous les pays où il porta « la guerre.

« Pour ne pas remonter si haut, l'Espagne ne « fut-elle pas conquise par les Maures après la perte « d'une seule bataille ? Timur-Beg ou Tamerlan, « ce fameux conquérant de l'Asie, ne se rendit-« il pas maître de la Perse, de l'Arménie, de l'In-« dostan et de beaucoup d'autres provinces, après « le gain de trois ou quatre batailles ? S'il y avoit eu « de bonnes places dans ces pays-là, il est certain « qu'il n'en seroit pas venu si facilement à bout ; « puisque trois ou quatre villes que César trouva « dans les *Gaules en état de lui résister*, lui firent « tant de peine, qu'elles l'obligerent à employer « des années pour les réduire. Pareille chose est « arrivé à tous les conquérans qui se sont trouvés « dans le même cas : ce qui prouve aux souverains « la nécessité des places fortes, pour assurer leurs « états contre les ennemis du dedans et de dehors, « et en même temś celle de se faire un art de « prendre les forteresses de leurs ennemis qui « peuvent les inquiéter, ou s'opposer à leurs « desseins ».

Ceux qui seront curieux d'un plus grand détail sur cette matiere, pourront consulter le Traité de *Maigret*, ingénieur français, sur la sureté et la conservation des états, par le moyen des forteresses.

FAUTES A CORRIGER.

Page j de l'avant propos, ligne 23; *place*, lis. *placé.*

Page 12, lig. premiere de la remarque II de la note; *abtraction*, lis. *abstraction.*

Page 30, lig. 20 de la note; *un plus simple*, lis. *un peu plus simple.*

Page 138, lig. 31; *masse contigue*, lis. *masse continue.*

Page 146, lig. 16; *hypothénues*, lis. *hypothénuse.*

TABLE DES ARTICLES

Contenus dans ce volume.

AVANT-PROPOS de l'Editeur. Page j
Préface de l'ancien Editeur. jx

PREMIERE PARTIE.

De la compagnie des mineurs. 1
De la fabrique de la poudre. 7
Explication des effets de la poudre. 9
Introduction à la connoissance des mines. 16
De l'ouverture des mines. *Ibid.*
De la conduite des galeries de mines. 18
De la forme et de l'emplacement de la chambre de la mine. 22
Maniere de charger la chambre de la mine et d'en fermer l'entrée. 24
Des moyens dont l'assiégé se sert pour prévenir l'effet des mines. 25
Réflexions sur les effets de la poudre dans les mines. 27
Maniere de supputer l'excavation des mines. 29
TABLE pour les différentes grandeurs des mines, dont on peut se servir dans les sieges, etc. 35
Exemple. 36
Usage de la Table précédente. 37
TABLE pour la charge des mines, selon Valiere. 40
De l'attachement du mineur. 41
De la différence des mines. 47
De la conduite des galeries et de la chambre de la mine. 48
De la maniere de charger les mines. 49
Du saucisson qui doit porter le feu à la mine. 50
Maniere de boucher la chambre et la galerie de la mine. *Ibid.*
Disposition de l'assiégeant avant et après l'effet de la mine. 51

SECONDE PARTIE.

Instrumens propres pour les mines. 55
Maniere d'attacher le mineur. 57
Pour les augets et saucissons. 58

Logement des poudres dans les fourneaux. 59
Maniere d'arcbouter et de remplir solidement. Ibid.
Compassement des feux à égale distance. 60
Compassement des feux à distance inégale. 61
Maniere d'attacher les saucissons ensemble, pour empêcher qu'ils se coupent. *Ibid.*
Maniere de mettre le feu à la mine. 62
Maniere de surmonter les difficultés des contre-mines. 63
Maniere de travailler sourdement sous terre. *Ibid.*
Maniere de donner de l'air aux mines. 64
Maniere de chambrer dans un mur non terrassé. 65
Maniere de se loger et faire breche dans un mur terrassé. *Ibid.*
Maniere de mettre le feu aux fourneaux par l'embouchure d'un puits. 67
Maniere de faire sauter une tour d'un grand diametre. *Ibid.*
Maniere de faire sauter une tour d'un médiocre diametre, comme de douze à quinze pieds dans œuvre. 68
Maniere de faire sauter une tour par moitié. 69
Expériences. 70
Démolition d'une tour à cinq lieues d'Amsterdam, par le moyen d'un puits emprunté. *Ibid.*
Démolition du magasin de Crevecœur. 72
Démolition d'un château à deux lieues d'Utrecht. *Ibid.*
Démolition du château de Navaigne, à deux lieues de Maestricht. 73
Démolition du château de Franchimon, à trois lieues de Limbourg. *Ibid.*
Attachement du mineur à la citadelle de Tournay, assiégée par l'armée françoise, à un bastion du côté de la Meuse. *Ibid.*
Défense du bastion Dauphin à Maestricht. 74
Démolition du bastion de Chamilly à Maestricht. 75
Epreuve faite dans la crête de Samel, à la portée du mousquet de Douay, dans un terrain d'argile, sans être étançonné; où il fût consommé la quantité de 3800 livres de poudre. 76
Autre épreuve faite au même endroit; où il a été consommé, sans y comprendre les saucissons, la quantité de 1920 livres de poudre. *Ibid.*
Autre épreuve faite au même endroit; où il a été consommé la quantité de 1080 livres de poudre. *Ibid.*
Autre épreuve devant du Metz; où il a été consommé la quantité de 7750 livres de poudre. 77
Autre épreuve devant le même; où il a été consommé la quantité de 4200 livres de poudre. *Ibid.*
Autre épreuve devant Fourtanvaux; où il a été consommé

[illegible] *quantité* [illegible]e 4200 livres de poudre. 77
Aut[illegible]e *épreuve* [illegible]evant le commandeur de Souvré; où il a été [illegible]onsomm[illegible] la quantité de 3300 liv. de poudre. 78
Attac[illegible]ement d[illegible] mineur dans la contre-garde du bastion de [illegible]arlemon[illegible] Luxembourg. *Ibid.*
Démolition du po[illegible]t de Huy. 79
Dessin de fourneau[illegible] pour faire breche tout à la fois dans la fausse-braye et [illegible]u bastion. 80
Épreuves qui ont ét[illegible] faites concernant les mines. 81
Autre épreuve. 82
Autre épreuve. *Ibid.*
Autre épreuve. *Ibid.*
Autres épreuves faites en présence de Louis XIV. *Ibid.*
Maniere de calculer l'excavation d'une mine. 83
Réglement de la charge qui se doit mettre dans chaque fourneau, suivant la qualité et quantité des terres qui se trouvent au-dessus, conformément à ce qui a été expérimenté et observé par quantité d'épreuves qui se sont faites devant Louis XIV pendant plusieurs années. 85
TABLE très juste pour voir tout d'un coup combien un fourneau doit enlever de toises cubes de terres, depuis 2 pieds jusqu'à 60 pieds au-dessus des poudres; et la quantité de poudre qu'il faut, selon les différentes profondeurs et la différente qualité des terres. 87
Remarque *sur la table ci-dessus.* 90
Usage de ladite table. *Ibid.*

TABLE

DES ARTICLES

DU SUPPLÉMENT.

INTRODUCTION. 92
De l'effet de la poudre et de l'excavation des mines. 94

CHAPITRE II.

Du creusement des puits, galeries et rameaux des mines; et de la maniere de les coffrer, charger, étrésillonner, etc. 155
Des fougasses. *Ibid.*

Des fougasses à bombes.
Construction des boîtes des fougasses à bombes. 1
De la grandeur des caisses de fougasses à bombes. 16

CHAPITRE III.

De la construction méchanique des contre-mines. 171
Tracé de la galerie magistrale pour la défense du glacis et du chemin couvert. *Ibid.*
Tracé de la galerie d'enveloppe. 173
Tracé des galeries de communication entre la magistrale et l'enveloppe. 176
Tracé des galeries d'écoute en avant de l'enveloppe. 180
Des galeries et écoutes pratiquées sous le terre-plain des ouvrages. 181
Remarque. 184
De la complication des dispositions de la guerre souterraine. 185
De l'établissement du sol des galéries. 186
De la disposition des puits pour l'excavation des galeries de mine. 190
De l'excavation du coffrage des galeries. 197
Des rameaux. 202
Des dimensions des coffrages et de la grosseur des bois des galeries et des rameaux. 205

CHAPITRE IV.

De la disposition des fourneaux des mines, contre-mines, et de leurs rameaux. 206
Remarque. 220
Du systême des mines en surcharge. 225
Du systême des contre-mines à trois étages. 229
Du premier étage des fourneaux. 230
Du second étage des fourneaux. 231
Du troisieme étage des fourneaux. 232
Remarque. 233
De la direction des rameaux de mines et de contre-mines. *Ibid.*
Du compassement des feux. 243
De la maniere de déterminer l'étendue du comblement des rameaux et des galeries, pour empêcher les fourneaux de souffler. 251

CHAPITRE V.

De la proportion qu'il faut établir entre les dispositions des contre-mines, la grandeur d'une place et la force

de sa garnison; et des approvisionnemens nécessaires à la construction des contre-mines en bois. 255
Application de l'observation précédente à quelques cas particuliers. 259
Ier. *Exemple*, pour un quarré ou place à 4 bastions. *Ibid.*
Estimation de la poudre. 260
Estimation du nombre des mineurs et servans nécessaires à cette disposition. *Ibid.*
Estimation du tems nécessaire à l'exécution. 261
TABLE des progrès du travail des mineurs, tant pour l'excavation que pour le coffrage des puits et des rameaux. *Ibid.*
IIe. Exemple, pour un pentagone où l'on jeteroit 25 mineurs. 262
Estimation de la poudre. 263
Estimation du nombre de servans nécessaires à ce travail. *Ibid.*
Estimation du tems nécessaire à l'exécution. *Ibid.*
Autre consommation de poudre. 264
IIIe. Exemple, pour un exagone où l'on jeteroit 45 mineurs. 265
Estimation de la poudre. *Ibid.*
Moindre consommation de poudre. 266
IVe. Exemple, pour un eptagone où l'on jeteroit 60 mineurs. 267
Estimation de la poudre. 268
Ve. Exemple, pour un octogone où l'on jeteroit 75 mineurs. *Ibid.*
DÉTAIL *des outils nécessaires aux mineurs employés dans le premier Exemple*, N°. 91. 269
Outils à terre. *Ibid.*
Outils à roc. *Ibid.*
Outils de Maçons pour percer les revêtemens des contrescarpes. 270
Outils de charpentiers pour les coffrages. *Ibid.*
Approvisionnemens en bois. 271
Pour les rameaux. *Ibid.*
Planches. *Ibid.*
Madriers. *Ibid.*
Autres menus approvisionnemens. 272
Bois nécessaire pour les galeries. *Ibid.*
Planches. 273
APPENDICE. 274

MÉMOIRE

POUR SERVIR A LA DÉFENSE DES PLACES DE GUERRE.

INTRODUCTION. 1
Disposition du tracé d'un front de fortification, pour la meilleure application de la défense des leviers. 6
Du levier défensif. 16
De l'armure du levier défensif. 19
De la disposition et de l'action des leviers défensifs. 23
Des leviers qui doivent être placés au pourtour des contrescarpes, et des tours en charpente destinées à les porter. *Ibid.*
Des leviers qui doivent être placés dans les casemates pratiquées derriere l'escarpe. 27
Des leviers établis sous l'escarpe du corps de la place ou des demi-lunes; et des tours à la gorge des contregardes. 40
De l'emplacement et de l'action du levier dans la défense des breches du corps de place. 43
De l'application des leviers à la défense des fossés inondés. 49
De l'application des leviers défensifs aux pompes de la Jommariere. 55
Défense d'un front par les moyens proposés. *Ibid.*
Dépense de cette disposition. 77
Avantages généraux et actuels du système des leviers défensifs. 78
Perfection dont ces moyens sont susceptibles. *Ibid.*

FIN DE LA TABLE.

TRAITÉ

TRAITÉ DES MINES.

PREMIERE PARTIE.

De la théorie des Mines (1) (2).

DE LA COMPAGNIE DES MINEURS.

Les surprenans effets des mines sont un sujet si digne de la curiosité de tout le monde, et la connoissance en est si nécessaire pour l'attaque et la défense des places, qu'on ne devroit rien négliger pour en appren-

(1) Ceux qui désireront acquérir des connoissances plus étendues sur la science des mines, pourront consulter avec satisfaction l'*Artillerie raisonnée*, par *le Blond*, où l'on trouve tout ce qu'il y a de plus nouveau et de plus intéressant sur cette matiere, ou bien le *traité des mines et des contre-mines* qui se trouve chez les mêmes libraires, en un volume *in*-8°. avec figures.

(2) *Une mine*, à la guerre, est en général un chemin souterrain; c'est-à-dire, une galerie horizontale ou un puits vertical, pratiqué en terre, au fond duquel on a creusé un trou de forme cubique, plus ou moins grand, appelé *la chambre de la mine*, dans laquelle chambre l'on dépose la quantité de poudre nécessaire pour enlever, par son explosion, toute la masse de terrain qui se trouve au-dessus de cette charge. Les mines dont le fourneau n'est pas à plus de douze pieds sous terre, sont en particulier nommées des *fougasses*.

Les mines se distinguent encore en mines et *contre-mines*. Les mines sont faites par l'assiégeant, les contre-mines par l'assiégé. (*Foissac.*)

dre l'histoire. Ce seroit sans doute le plus sûr moyen de perfectionner cet art. Persuadé de cette utilité, on a recueilli, avec grand soin, tout ce que l'on a trouvé de remarquable sur cette matiere, pendant une assez longue suite d'années; de la maniere dont on s'y est pris; de la quantité de poudre que l'on y a employé; de la forme des galeries souterraines; et afin de représenter les choses le plus exactement qu'il est possible, on a accompagné ces descriptions des plans, profils, ou élevations de tous ces ouvrages, mêmes jusqu'aux outils qui leur sont propres et particuliers. Et parce que les terres ne sont pas toutes d'une même qualité, on y ajoute des tables fidelles de la pesanteur de diverses terres et sables, afin de régler la quantité de poudre qu'il faut pour les enlever. Mais avant que d'entrer dans ce détail, il est à propos de faire un abregé de l'histoire des officiers mineurs.

On ne peut douter que, depuis que les effets de la poudre ont été connus, l'état n'ait eu besoin de gens qui fissent profession de l'employer aux attaques et défenses des villes : aussi y avoit-il des officiers mineurs dans les places de guerre, avant qu'on les eût réduits en compagnie, comme ils sont aujourd'hui.

La premiere qui parut en France, fut celle que le roi créat après la paix de Nimegue, au camp de Maintenon en 1679, dont Goulon (1), ingénieur, fut fait capitaine. Le roi donna ordre à plusieurs officiers mimineurs, qui étoient distribués dans les places, de s'y rendre, pour composer une compagnie de trente mineurs. Des plus anciens il tira un lieutenant, un second lieutenant, quatre commandans de brigade,

---

(1) Le manuscrit dit le sieur la Mothe, ingénieur en chef; mais Saint-Remy nomme expressément le sieur Goulon.

quatre brigadiers; et le surplus de ces officiers fut mis à la tête, en qualité d'anciens mineurs. Le reste de la compagnie fut rempli par des grenadiers choisis par ordre du roi. Et afin de la faire fleurir par des sujets capables, il établit en même tems une école, dont les éleves faisoient devant lui des épreuves de toutes façons, de la maniere la plus courte et la plus juste, dans des terres, des tours, des moulins et autres ouvrages de maçonnerie, dont il voulut souvent voir les effets. On avoit soin d'en remarquer la diversité, suivant la quantité de poudre que l'on y employoit. Il a paru depuis ce tems-là, trois autres compagnies (1); mais on s'est borné à parler des services de celle-ci; et parce qu'elle fut composée de mineurs qui avoient déja rendu de grands services, nous remonterons à ce qu'ils avoient fait de plus remarquable avant leur réunion.

Le siege de Candie fut celui qui commença à leur attirer une grande réputation; car tout le monde sait que cette place fut beaucoup plus défendue par les mines qu'autrement: néanmoins, comme alors la troupe en étoit peu nombreuse, l'ambassadeur de Venise n'en emmena que six, qui avoient commission du grand-maître d'artillerie, et cinquante écus par mois, avec double ration de pain. On leur donna un grand nom-

(1) Depuis la création de cette compagnie, le roi en fit lever une seconde en 1695. Après le siege de Mont-Melian, le commandement en fut donné au sieur Esprit, ingénieur. La compagnie de Megrigny, réunie sous l'autorité du grand-maître d'artillerie en 1705, a aussi été regardée comme compagnie de mineurs depuis 1673, qu'elle fut destinée à travailler aux contre-mines de la citadelle de Tournay, et a servi depuis en campagne comme les autres, quoiqu'elle ne fut payée que comme l'infanterie. Il y eut une quatrieme compagnie de mineurs, savoir celle de Delorme, composée de 60 hommes, qui eut la même paye que la seconde compagnie; mais elle n'a pas été comprise dans l'ordonnance des quartiers d'hiver.

bre d'ouvriers, dont ils conduisirent le travail, et s'en servirent avec succès. Le reste des mineurs étoit dispersé à Charleroy, Sedan, à l'arsenal de Paris, et en diverses places de la France.

A la campagne de Hollande, ils s'acquitterent de leur devoir d'une maniere signalée à la prise des places où ils furent employés, comme à Bommel, Creve-cœur, Nimegue et autres. Ils étoient payés à raison de soixante livres par mois en campagne, avec double ration de pain, et trente livres par mois en garnison, sans pain : outre cela ils étoient payés en particulier de leurs travaux.

L'année suivante la compagnie des mineurs fut employée au siege de Maestricht, où la mine étant faite à la porte de Tongres, la place se rendit incontinent. Elle travailla après la reddition, à faire des contre-mines sous le glacis et dans tous les ouvrages de cette place, qui ont beaucoup contribué à sa défense.

On forma ensuite le siege de Bouchain, où après avoir fait une breche considérable à une demi-lune, on s'attacha au corps de la place, qui se rendit, sans attendre qu'on en fît autant au bastion.

Aux sieges de Dinant et de Limbourg, ils firent breche, et obligerent aussi ces places à se rendre. Ces conquêtes furent suivies de celles de Cambray, de Valenciennes et autres endroits, où les mineurs se signalerent, sur-tout à la premiere de ces villes, où la breche fut si considérable, que la place se rendit incontinent.

La même compagnie n'a pas peu contribué à faire lever le siege de Maestricht que les ennemis avoient ensuite formé. Il y eut deux effets de mine remarquables dans le bastion Dauphin, dans lequel on fit sauter les batteries et les logemens que les ennemis y avoient fait;

après s'en être rendu maîtres. Quoique la premiere mine les eut obligés d'abandonner le terrain, ils s'y établirent une seconde fois avec des batteries, qui eurent le même sort que les premieres, par des fourneaux plus enfoncés que les précédens; ce qui les obligea enfin de lâcher prise. On ne compte pas ici plusieurs autres fourneaux sous les glacis et les chemins couverts, qui firent périr un grand nombre d'assiégeans. On leur étouffa par des fougasses et autres artifices presque tous leurs mineurs, et ils furent contraints de lever le siege.

Dans la suite de cette guerre ils ont été employés au travail des contre-mines en diverses places, comme à Charleroy, Tournay, Casal, Philippeville; et à la démolition de plusieurs autres, comme Limbourg, Maseyk, la citadelle de Liege, Tongres, Argenteau, Nimegue, le Pont et Château de Huy, Saux, Stivin, Franchimont, Saint-Guislain, Château-Thierry, et plusieurs autres travaux considérables.

Au siege de Luxembourg, après plusieurs mines, on en fit une, composée de trente-quatre fourneaux, qui fit quatre-vingt toises de breche; effet si considérable qu'il surprit tout le monde, puisqu'on n'avoit jamais vu ni entendu parler de rien de pareil: après quoi on s'attacha tellement en trois endroits du corps de la place, que les assiégés furent obligés de se rendre.

La compagnie des mineurs fut employée dans la suite à diverses démolitions et contre-mines dans plusieurs places; après quoi elle fut envoyée à Douay et à Tournay, où elle a fait diverses épreuves, et ensuite à Maintenon. Dans tous ces endroits, le roi a fait la dépense de plus de deux cents milliers de poudre pour la perfectionner par des expériences dont il a souvent voulu être témoin.

On fit ensuite le siege de Philipsbourg, où les mineurs firent une saignée souterraine, qui écoula toute l'eau des fossés de la place dans le Rhin, et dessécha une partie des marais ; ce qui en facilita beaucoup la prise. On continua la campagne par le siege de Manheim et de Frankental ; après quoi on sépara la compagnie en deux, dont une partie fut envoyée à la démolition de plusieurs places du Palatinat, et l'autre à celle de Dôle.

De-là elle fut envoyée à Mayence, où elle traivailla à un grand nombre de contre-mines, qui ont beaucoup retardé la reddition de cette place; entre autres une qui fut faite au bout d'une galerie de quatre-vingts toises de longueur, sous la montagne de Munster, qui voit de revers tout un front de cette place, et découvre les bastions jusque dans le fond du fossé. Sans cette contre-mine les assiégeans y auroient dressé des batteries, qui auroient rendu les chemins couverts, les fossés et une partie du rempart inhabitables. Ils auroient fait en peu de tems une breche avec le canon au bastion, et se seroient sans doute rendu maîtres de la place en moins de douze ou quinze jours.

Après cette reddition, elle fut employée aux belles contre-mines de Sarlouis, dans les trois bastions qui font face à l'endroit attaquable de cette place. On en fit alors plusieurs détachemens pour l'armée d'Italie, où ils se sont très bien acquittés de leur devoir, particulièrement en Savoye, au siege de Montmelian.

On fit ensuite le siege de Mons, où ils firent sauter un batardeau, qui écoula toute l'eau des fossés du front de l'attaque de Bertamont, et dessécha une partie des marais ; ce qui facilita beaucoup l'attaque de cette place.

L'année suivante ils furent envoyés au siege de Namur, où le corps de la compagnie est demeuré, et

d'où l'on a fait plusieurs détachemens pour les armées: le reste a été employé aux beaux souterrains de cette place. Il y en avoit au commencement de la derniere guerre dix-sept, capables de contenir 1800 à 2000 hommes à couvert de l'effet des bombes.

Les officiers de cette compagnie des mineurs sont les seuls qui ont eu la conduite des ouvrages de mines et contre-mines, soit dans les places, ou dans l'attaque et la défense. Ils ne tiennent à aucun regiment (1): ils marchent et campent avec le corps d'artillerie, et trois subalternes avec trois anciens mineurs sont pourvus de commission lorsqu'ils vont en campagne, ou dans des places de guerre pour y exercer leurs fonctions, avec exemption de toute autre sorte de service que celui des mines et des contre-mines.

La troupe n'étoit composée anciennement que de 20 hommes; elle vint ensuite à 30, et la nécessité d'entrenir un plus grand nombre de mineurs, à cause de la quantité de places que l'on a contre-minées pour les attaques, la fit mettre à 60, puis à 70, sans y comprendre les officiers. Voici comment est composée la premiere compagnie, dont il s'agit maintenant: un capitaine deux lieutenans, quatre commandans, quatre caporaux, trente anciens mineurs, quarante autres mineurs et deux tambours.

De la Fabrique de la Poudre.

Avant que de donner des principes sur le calcul des mines, et sur la charge qui leur convient relative-

(1) Ils sont incorporés aujourd'hui dans royal artillerie, depuis l'ordonnance du 5 février 1721. Ils forment cinq compagnies, composées chacune de cinquante hommes; savoir un capitaine, deux lieutenans, deux sous-lieutenans, trois sergens, trois caporaux, trois anspessades, deux cadets, seize mineurs, vingt-deux apprentifs et un tambour.

ment à l'effet qu'on se propose, il est nécessaire d'entrer dans quelques détails sur la nature de la poudre et sur ses merveilleux effets.

La dose de la poudre à canon, la meilleure et la plus fine, est de trois parties de salpêtre sur une demi-partie de soufre, et autant de charbon de chenevotte, ou de bois de coudre, ou de saule; le meilleur de tous est le plus léger et le plus sec; le tout faisant une livre de composition.

Ces matieres étant bien mêlées, sont exposées à la meule roulante, jusqu'à ce qu'elles soient bien broyées, remarquant qu'il les faut arroser et remuer presque incessamment. On les tire de-là pour les mettre dans les pots ou mortiers de fer fondu des moulins à poudre, où elles sont humectées de tems en tems d'eau de fontaine, et battues au pilon 16 ou 18 heures durant, sans intermission, quelquefois davantage, les remuant et arrosant de tems en tems (1). Après les avoir tiré de-là un peu humides, elles sont roulées et passées au grenoir, où la poudre prend sa forme et son grain; après quoi on la fait bien sécher au soleil pendant l'été, ou dans des poëles pendant l'hiver.

Cela fait, on l'encaque dans des tonneaux faits exprès, qui en contiennent ordinairement 200 livres justes, lesquels sont doublement renfermés par une seconde futaille, appelée *chape*, et ensuite mis dans les magasins.

Voilà comme se fait cette poudre si terrible, inconnue aux anciens, et tellement hors de toute apparence de pouvoir jamais être inventée; ensorte que si quelqu'un s'étoit avisé de la proposer il y a 300 ans, comme une vérité prête à éclore, et à laquelle il ne manquoit

(1) Cette manœuvre dure ordinairement vingt-quatre heures. Chaque mortier contient 20 livres de matiere mélangée, que l'on change toutes les trois heures de mortiers, pour mieux opérer le mélange. (*Foissac.*)

qu'un peu de spéculation et de curiosité pour la mettre au jour, et qu'il eût ajouté combien elle seroit commune et ses effets surprenans, on l'auroit siflé et traité de visionnaire et de fou, aussi extravagant que ceux qui ont cru avoir trouvé, à peu de chose près, la pierre philosophale, dont l'invention (supposé qu'elle soit possible) n'auroit peut-être rien de plus admirable que celle de la poudre.

Explication des effets de la poudre.

Remarquez que l'activité de la poudre emflammée est si vive et son action si prompte, qu'on ne sauroit distinguer d'intervalle entre les deux : tout se fait dans le même instant, avec une violence, qui ne va pas moins qu'à rompre et mettre en pièces tout ce qui lui fait obstacle.

Imaginons un globe de poudre A, (Pl. I, *fig.* 1.) de telle grandeur qu'on voudra, suspendu en l'air, sans qu'aucune de ses parties touche à terre, il est certain que si on y met le feu, l'étendue de son inflammation formera un autre globe autour du premier, dont tous les rayons seront égaux, parce que tous s'éloigneront également du centre dans le même instant, et qu'ils s'étendront autant vers le bas que vers le haut; et bien que le feu de sa nature, monte toujours, l'activité de la poudre emflammée ne donnera pas le loisir à celui-ci de s'assujétir à cette loi.

Mais si ce même globe étoit à demi plongé, comme B (*fig.* 2.), dans une matiere dure, et capable de résister à l'action de la poudre, il est évident que toute l'activité de son embrasement se porteroit sur la partie libre, qui n'étant point contenue, les rayons de la partie contrainte se joignant à ceux de la partie libre, produiroient sur ce demi-globe, tout l'effet répandu

autour du globe entier ; d'où s'ensuivroit que les rayons de la partie contrainte, joindroient toute leur force à celle de la partie libre, ce qui doubleroit la force des deux, et en même tems l'étendue (1) de leur embrasement, représenté par les rayons de la seconde figure B.

Si cette même quantité de poudre étoit encore plus resserrée, et si au lieu de lui laisser le demi-globe entier, on ne lui laissoit que le quart contenu par l'angle A B C (Pl. I, *fig.* 3.), le surplus de ce qui pourroit l'environner, étant de matiere dure, capable de la résistance nécessaire ; alors tous les rayons de l'embrasement se joignant dans la partie libre, redouble-

---

(1) Ce que Vauban dit ici a besoin d'une espece d'examen. Il est vrai que la poudre s'emflamme circulairement, et que lorsqu'elle est renfermée dans un lieu quelconque, elle s'échappera, si on y met le feu, avec d'autant plus de vîtesse et de force, qu'elle aura moins d'espace pour se dilater ; mais cette dilatation ou extension ne suit point les proportions exactes que le Maréchal Vauban avance ici sans preuve.

Si l'on suppose, avec cet illustre ingénieur, que la poudre fasse son effet dans une sphere, et qu'elle puisse s'étendre vers sa surface, autant que sa force le lui permettra ; qu'ensuite on renferme la même quantité dans une demi-sphere où elle puisse aussi s'étendre, suivant son degré de force, vers sa surface, la poudre en s'enflammant dans la sphere, formera une autre sphere d'un rayon quelconque. Lorsqu'elle agira dans la demi-sphere, elle ne sera pas capable d'une plus grande extension ; ainsi elle y formera une autre demi-sphere égale en solidité à la sphere précédente, et dont la sphere entiere seroit double de celle qui auroit pour rayon celui de la premiere. Mais cette derniere sphere double en solidité de la premiere, n'a pas un rayon double, puisque les solides semblables, sont comme les cubes de leurs rayons, et non comme leurs rayons ; et qu'ainsi, si son rayon étoit double, sa sphere seroit octuple : or comme elle n'est que double, le rayon de la demi-sphere ne sera donc pas double de celui de la premiere sphere, ainsi que le suppose Vauban. On peut appliquer le même raisonnement aux autres propositions de cette espece de théorie sur l'inflammation de la poudre, pour se convaincre qu'elle n'a pas toute l'exactitude qu'on peut désirer.

roient encore de force, et s'alongeroient au double de ceux du demi-globe, et au quadruple de ceux du globe entier; d'où s'ensuivroit encore que toute la violence qui accompagne son activité, continueroit toujours à s'unir et à se renforcer, à mesure que l'ouverture de son inflammation seroit diminuée, comme il est représenté par la troisieme figure. Si on continuoit à resserrer de plus en plus les ouvertures de cette même quantité de poudre, elle augmenteroit toujours de force et d'activité à proportion de la diminution de l'ouverture qu'on laisseroit à sa fuite, et cela, sans rien perdre de sa force; car si au lieu de réduire la fuite de son embrasement au quart du globe, comme ci-dessus, on la réduit au huitieme, comme EFG (Pl. I, *fig.* 4.), certainement les rayons dudit embrasement s'alongeront huit fois autant que ceux du globe entier, et réuniront en eux toute la force et l'activité dudit globe, comme il est représenté à la quatrieme figure E (1).

---

(1) Il est certain que le principe de Vauban, est une erreur, ainsi que le remarque l'auteur de la note précédente. Voici comme on peut développer cette théorie.

Soit s, la sphere d'activité de la poudre, et r son rayon. Il est évident que cette matiere cherchera toujours à se développer dans une égale étendue, et que chaque fois qu'elle sera gênée par un obstacle insurmontable pour agir suivant tous les rayons d'une sphere, elle s'étendra d'autant plus dans l'angle sphérique dans lequel elle conservera la liberté d'agir, que cet angle sera plus petit par rapport à la sphere; ensorte qu'elle occupera toujours dans cet angle une espace égale au volume de la sphere. Il résulte de-là que si l'on appelle S la nouvelle sphere, et x le nombre de fois qu'elle contient l'angle laissé à l'activité de la poudre, l'on aura cette égalité;

$$S = sx.$$

et, en nommant R, le rayon de la sphere S;

$s : S$ ou $s x :: r^3 : R^3$, à cause qu'il y a proportion entre les solides semblables, et les cubes de leurs côtés homologues. Cette ana-

Si au lieu de cette ouverture angulaire, on réduit l'espace de sa fuite à un canal rond ou quarré (*fig.* 5.), de capacité proportionnée à celles des poudres destinées à l'embrasement, et que les environs de ce canal soient

---

logie donne $R^3 = \frac{s x r^3}{s} = x r^3$. Ou bien, en extrayant les racines cubes des deux membres de cette identité,

$$R = \sqrt[3]{x r^3}.$$

En supposant $r = 1$. on aura donc $R = \sqrt[3]{x}$. c'est-à-dire, que le rayon de la sphere à laquelle appartient l'angle abandonné à l'activité de la poudre, est égal à la racine cubique du nombre qui exprime le rapport de cet angle avec ladite sphere. Mettons maintenant successivement à la place de x, les nombres naturels et entiers 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, etc. qui expriment que l'angle d'activité est contenu 2, 3, 4, 5, 6, 7, ou 8 fois, etc. dans la sphere à laquelle il appartient; nous aurons $R = \sqrt[3]{2}$. ou $\sqrt[3]{3}$, ou $\sqrt[3]{4}$, etc. c'est-à-dire, pour les cas de l'hypothese de Vauban, qui suppose cet angle la moitié, le quart ou le huitieme de cette même sphere: respectivement,

$$R = \sqrt[3]{2}.$$
$$R = \sqrt[3]{4}.$$
$$R = \sqrt[3]{8}.$$

ou bien enfin, en opérant l'extraction des racines, $R = 1,259$, à moins d'un millieme d'unité près; $R = 1,599$, à un moins d'un millieme près, $R = 2$, exactement.

Remarque I. L'on voit par le dernier résultat, que le rayon de la sphere dans laquelle l'effet de la poudre ne s'opere que dans un angle, n'est double de celle dans laquelle elle agit librement, que lorsque cet angle en est la huitieme partie, c'est-à-dire, lorsqu'il est de 45°. Par la même raison, ce rayon n'est triple que lorsque l'angle est la 27e. partie de 360° ou de 13° 20′; quadruple que lorsque le même angle est la 64e. partie de 360° ou de 5° 37′ 30″, ainsi de suite.

Remarque II. Dans la solution de cette question, nous avons fait abtraction de plusieurs résistances qui décomposent la force et la direction des effets de la poudre; telle est la résistance de l'air, celle des parois entre lesquelles on limite son effort. Ces causes varient en raison composée des surfaces contre lesquelles elle agit, de la force de l'action, et des angles

de matiere dure, et capable de toute la résistance nécessaire, l'embrasement de la poudre qui se dirigera par ce canal, agira avec une violence extrême dans toute sa longueur, et poussera avec un éclat et une impétuosité surprenante, tout ce qu'elle trouvera à son chemin, bien loin au-delà de la bouche dudit canal, comme il est représenté par la cinquieme figure.

---

d'incidence des divers rayons suivant lesquels se dirige son effet contre ces mêmes surfaces. Car 1°. La poudre agit sur un fluide élastique qui est l'air, et ce fluide lui résiste suivant la surface de la sphere totale quand la poudre est libre, ou seulement suivant une portion de cette surface, c'est-à-dire suivant une calotte sphérique, quand elle n'en embrasse qu'un angle. Or les surfaces des solides semblables étant dans la proportion des quarrés de leurs lignes homologues, la calotte de l'angle de 90° d'une sphere octuple, ou ayant un rayon double, éprouvera dans sa détonnation la même résistance de la part de l'air, que la sphere primitive totale, et, en général, les résistances de ce milieu seront entre elles. comme les quarrés des rayons. L'air résiste encore en raison de sa densité, de son élasticité, qualités sans cesse variables et difficiles à introduire dans les calculs; il resiste encore suivant la violence ou la vitesse avec *laquelle il est frappé*, et cette violence de la poudre est plus forte dans l'état de compresion contre une calotte sphérique, que contre la sphere totale dans laquelle elle agit avec liberté en tout sens. 2°. Chacun des rayons divergens de la sphere d'activité, d'un grain de poudre, lorsqu'elle est renfermée dans une arme ou dans un espace quelconque qui ne lui laisse qu'une issue, frappe le vase qui la renferme sous différens angles; un seul de ces rayons suit la direction droite de l'ouverture: il y a donc une décomposition d'effort, et tout le mouvement de recul, par exemple, imprimé à la culasse d'un canon, d'un mortier ou d'un fusil, en sens opposé à sa bouche, est une quantité perdue résultante de cette décomposition, qui diminue la force expansive dans le sens du rayon libre de la sphere d'activité. D'après cela ce rayon perd encore quelque chose de sa longueur trouvée par la théorie précédente. 3°. Enfin la réaction étant égale à l'action, la premiere sera plus grande dans un moindre espace où la poudre agit avec plus de violence. Ces divers effets ont fait imaginer les chambres sphériques, elliptiques, etc. plus propres à favoriser une réaction avantageuse à l'effet des armes. Si l'on ajoute à ces causes qui alterent nos résultats, celles

Rendons présentement l'effet des mines intelligible, autant que le sujet le pourra permettre.

Soit donc la mine A (Pl. I., *fig.* 6.), engagée de 3 ou 4 toises sous la superficie de la terre; le plus ou moins n'y fait rien. Si nous la supposons emflammée, les rayons de l'inflammation seront sûrement contenus par le bas B, soutenu de tout le globe de la terre, opposé au vuide D, qui est à la superficie; ils le seront aussi par les côtés C, G, segmens de ce même globe d'une épaisseur immense; ils le seront encore par les deux triangles F A C, parce qu'ils participent encore beaucoup des solides précédens : ajoutons que F D F représente la superficie de la terre, dont la distance au centre de l'embrasement, est le moindre de tous les côtés, et conséquemment le plus foible des environs; il est donc évident que l'effort de la mine se fera vers le point D, qui est le plus près de l'embrasement, puisque c'est la partie la plus foible, et que les parties F A D, D A F, participant beaucoup de cette foiblesse, seront à-peu-près enlevées de même, ou du moins fort écartées de leur place D; d'où il suit que l'effet d'une mine *raisonnablement chargée*, ne force jamais que la moitié des parties C A D, savoir F D, D F. La raison est que toutes les parties F, D, F, qui tiennent du plus foible, céderont et seront enlevées par l'effet de

---

qui naissent des différentes qualités de la poudre, des accidens qui l'affoiblissent, il faudra convenir que cette espece de calcul est hors du domaine des sciences exactes, et que le seul moyen de juger de la force de son ressort, c'est de la soumettre aux épreuves. Ainsi l'instrument ingénieux connu sous le nom d'éprouvette, est plus utile sur cette matiere que les plus profondes méditations des mathématiciens. Nous sommes entrés dans ce détail, pour prévenir les lecteurs contre les hypotheses de Vauban, comme contre celles des auteurs qui ont relevé son erreur ou qui pourroient en faire d'autres semblables. (*Foissac.*)

la mine; à quoi s'accordent très bien toutes les expériences qui ont été faites jusqu'ici en plein terrain, ce qui prouve encore que la poudre suit la loi naturelle des méchaniques, et agit toujours du côté le plus foible, comme tous les corps qui ont le mouvement libre.

Suivant ce raisonnement, le demi-globe CDC, est divisé en quatre parties égales, dont les deux foibles FDF(1), sur lesquelles l'action se fait, faisant le quart de la capacité, l'angle de la mine, ou du cône renversé FAF, est droit, ou à-peu-près, et c'est sur cela que nous réglerons ci-après le calcul de l'excavation des mines.

Remarquez que bien que l'effet d'une mine soit ici représenté en terrain égal, ou de niveau, et que par conséquent il semble devoir être tel qu'il est représenté en la sixieme figure; il ne l'est ainsi que pour en faciliter la démonstration: car on ne fait guere de mine de la sorte, si ce n'est quelques fougasses sous des glacis de contrescarpe, pour faire sauter un logement de tranchée trop avancé. Celles que l'on fait, sont d'ordinaire, sous des remparts de place, des tours, des dehors et des bords de fossé, pour ébouler, abattre, renverser, ou pousser en avant, et jamais pour enlever à-plomb; mais quoique les superficies en soient fort inégales, et l'action biaise, les mêmes principes subsistent toujours, et il suffit de diriger le foible de la résistance du côté où l'on veut faire l'éboulement, de charger à propos, et de

(1) Ce secteur ne fait point partie du demi-globe C D C, comme le dit ici Vauban. Je pense donc qu'il y a erreur dans la figure, et que le cercle C D C B devroit passer par les points F. En effet, ce cercle représente la sphere d'activité du fourneau, et ce seroit gratuitement que Vauban supposeroit que son effet s'étend en F, si cette sphere ne s'étendoit pas jusqu'à ces points; mais admettez cette construction, l'effet est expliqué. Nous reviendrons sur cet effet dans nos additions. (*Foissac.*)

le bien boucher, pour être sûr qu'elle poussera son effet de ce côté-là, quelqu'inégalité qui se trouve dans le haut des terres.

Introduction à la connoissances des Mines.

Pour avoir une connoissance parfaite des mines, il y a plussieurs choses à considérer : savoir, l'endroit où l'on doit les ouvrir; comment on doit les conduire; la forme qu'on doit donner à la chambre de la mine (qui est l'endroit où l'on renferme la poudre); comment on doit la charger; et enfin de quelle maniere on doit fermer cette chambre, ainsi que la galerie qui y conduit, pour la mettre en état de faire l'effet qu'on en attend.

De l'ouverture des Mines.

Ceux qui ont fait usage des mines avant l'invention de la poudre, ont pensé avec quelque raison, qu'il étoit nécessaire pour les faire réussir, d'en ôter absolument la connoissance aux assiégés. Dans cette vue, ils les ouvroient fort loin du lieu qu'ils vouloient attaquer, les conduisant le plus secrétement qu'il étoit possible (1). Les modernes, c'est-à-dire, ceux qui se sont servi de la poudre dans les mines, jusqu'à nos premieres guerres, ont suivi cette maxime. En effet, il n'y a pas encore long-tems (2) que l'on commençoit à ouvrir les

---

(1) Anciennement les galeries de mines se faisoient à-peu-près comme aujourd'hui. Elles conduisoient à une grande chambre qui comprenoit tout le dessous de l'objet que l'on vouloit faire écrouler, et que l'on contenoit avec des étançons de bois bien sec. Cette chambre se remplissoit de matieres combustibles auxquelles on mettoit le feu, et qui, consumant les étais, faisoient tomber l'objet dans la profondeur de la chambre. (*Foissac.*)

(2) *Vauban* écrivit ce mémoire en 1702, quelque tems après la paix de Riswich.

mines dès le glacis du chemin couvert, et qu'on les conduisoit sous le fossé, pour ôter aux assiégés la connoissance de l'endroit du rempart que l'on vouloit faire sauter, et le moyen d'y remédier par des contres-mines.

Mais on a considéré depuis ces dernieres guerres que la conduite de ces mines emportoit trop de tems, qu'il étoit difficile de faire tant de chemin sous terre sans se tromper (1), la boussole étant fautive à cause des veines de mine de fer que l'on y rencontre très-souvent; on étoit d'ailleurs obligé de faire un double travail dans la conduite de ces mines, parce que, outre celui que l'on faisoit sous terre, il falloit encore en faire un autre sur terre pour conduire à couvert ceux qui devoient former une attaque et faire un logement sur les débris de la mine après qu'elle a joué. On a considéré en même tems qu'il étoit possible d'attacher le mineur à la face du bastion sans que les assiégés en eussent connoissance, et qu'au pis aller, quand ils s'en douteroient, la hauteur des remparts, et la maniere de conduire la mine avec des *détours*, leur pouvoit ôter le moyen de l'éventer, sur-tout si l'on faisoit la diligence qui est nécessaire en pareille position.

Toutes ces considérations ont fait prendre le parti, dans les dernieres guerres, de passer le fossé avant que d'ouvrir les mines, et d'attacher le mineur à la face du bastion, aux places régulieres. Mais quelques ingénieurs ont paru incertains sur l'endroit de la face où il convenoit de l'attacher. Quelques-uns vouloient que ce fût vers la pointe, parce qu'après qu'elle est emportée il est impossible d'être vu de l'ennemi dans le logement qu'on peut y faire. Cependant on est convenu depuis

(1) Ce seroit donc un grand avantage pour l'art défensif, que de forcer l'assiégeant à reprendre cette lente et incertaine méthode. Nous nous sommes occupé de cet objet, à la suite de ce traité.

qu'il valoit mieux ouvrir la mine plutôt vers l'angle de l'épaule que vers la pointe du bastion, parce qu'alors on faisoit sauter les retranchemens, lorsqu'il y en avoit dans le bastion, en même tems que la muraille (1).

On verra ci-après de quelle maniere on doit faire passer le fossé au mineur, et comment on peut lui faciliter les moyens de s'attacher à la face du bastion; je dirai seulement ici que l'entrée de la mine doit être épaulée du côté du flanc, par les ruines de la muraille abattue par les batteries établies pour cet effet sur le chemin couvert (2): outre cette espece d'épaulement, on a soin de couvrir le trou du mineur avec des madriers recouvers de fer-blanc, ou garnis de peaux de bœuf fraîches, de crainte des feux d'artifices que les assiégés peuvent y jeter du haut de leur rempart.

L'entrée de la mine doit être de 3 pieds et demi à 4 pieds en quarré, lorsqu'on n'y fait qu'un simple fourneau, ou de 4 pieds et demi, et même 5 de hauteur sur 4 de largeur, lorsque la galerie doit conduire à plusieurs fourneaux, afin qu'un homme puisse y travailler commodément, et qu'il puisse y passer deux hommes en même tems sans trop s'embarrasser.

De la conduite des Galeries de Mines.

Si le mineur travaille dans une muraille, la liaison de la maçonnerie soutient son travail, de sorte qu'il n'est pas obligé de l'étayer; mais s'il travaille dans les terres, il faut de nécessité qu'il les empêche de s'ébou-

---

(1) L'assiégeant peut quelquefois apprendre avec certitude si ce retranchement existe, et lorsqu'il n'existe pas, il n'est pas douteux que la breche vers l'angle flanqué est plus avantageuse que celle vers les angles d'épaule.

(2) Un des problêmes les plus intéressans pour les progrès de la défensive, est d'empêcher, ou au moins de rendre très difficile l'établissement de ces batteries: nous nous sommes aussi essayé sur cette matiere

ler, en y mettant des madriers de la largeur de la *mine*, et qu'il soutienne ces madriers par leurs extrémités avec de bons étançons, conduisant ainsi son travail jusqu'au bout (1).

Il se sert de la boussole et de la fausse équerre pour aller à l'endroit qui lui a été marqué par l'ingénieur, ne se contentant pas de la seule boussole qui peut le tromper, comme on l'a remarqué, mais se servant de l'une et de l'autre en même tems, pour voir si elles se rencontrent toutes deux, et pour être par ce moyen plus sûr de son travail.

On conduisoit autrefois les galeries des mines sans y faire aucuns détours, mais on s'est apperçu que l'effet de la mine n'étant arrèté que par les obstacles que l'on mettoit dans le canal de la mine pour résister à l'effort de la poudre, elle les emportoit très souvent et sortoit par l'entrée de la mine, au lieu de renverser les murailles et d'enlever le terrain qui étoit derriere leurs revêtemens. C'est ce qui a déterminé à conduire les galeries de mines avec un ou plusieurs détours, afin que si la poudre emportoit les traverses et les arc-boutans dont on formoit la chambre, et le dernier canal, elle trouvât de la résistance contre le terrain solide du premier détour qu'elle rencontroit devant soi, et que par ce moyen elle fît son effet contre tout le terrain de dessus et des environs : ce qui est facile à comprendre sans le secours d'aucune figure.

Cette maniere de conduire les rameaux de mines a été suivie de tout le monde ; mais les uns les ont poussés plus avant, les autres moins, s'arrêtant dans le corps de la muraille. On a trouvé, par les dernieres épreuves

(1) On se sert pour cet effet, de chassis, chaque fois que l'usage en est praticable : nous donnerons les détails de cette construction.

de mines que l'on a faites, dans la démolition de Dôle en Franche-Comté, qu'elles faisoient beaucoup plus d'effet lorsqu'après avoir conduit le premier rameau en ligne droite au travers du revêtement, on tournoit à droite ou à gauche, et l'on conduisoit le second dans le terrain le long de la muraille, et qu'enfin on faisoit la chambre de la mine moitié dans cette muraille et moitié dans le terre-plain du rempart; en supposant, comme il arrive quelquefois, qu'il n'y eût point d'ouverture entre la maçonnerie et la terre qui est derriere.

On a trouvé par les mêmes épreuves que si en conduisant le second rameau le long de la muraille, on rencontroit un contre-fort, il valoit mieux tourner au tour que de le percer, parce qu'il servoit encore à arrêter l'effet de la poudre qui se jette toujours du côté qui a été ouvert, si elle n'y trouve pas de grands obstacles.

Quelques ingénieurs ont pensé qu'après avoir fait la premiere galerie de la mine, il valoit mieux en tirer deux à droite et à gauche, et faire aux deux extrémités de ces rameaux deux chambres différentes, que de n'en faire qu'une. Mais outre l'inconvénient de ne pouvoir que difficilement donner feu aux deux fourneaux en même tems, on a découvert par les épreuves de Dôle, qu'elle faisoient beaucoup moins d'effet de cette maniere que de la premiere, quoiqu'on ait heureusement donné feu aux deux fourneaux en même tems.

Si l'on mine dans la terre, il faut pousser sa galerie plus loin que dans une muraille : cela dépend du jugement de l'ingénieur et de la maniere dont il sait que le bastion qu'on veut faire sauter est terrassé. Car il y a plus de sureté à miner dans un bastion plein que dans un vuide, dont le rempart n'a souvent que 12 ou 13 toises de largeur.

Lorsqu'un bastion est contre-miné, c'est-à-dire,

lorsqu'il y a quelque galerie dans le corps de la muraille il faut de nécessité faire deux petits fourneaux dans l'épaisseur du mur pour ouvrir la galerie : après cela on la fermera des deux côtés, et l'on fera une seconde mine dans le reste de la muraille et dans le rempart.

Je ne dirai rien des mines que l'on ouvroit dès la tête de la tranchée et dès le glacis de la contrescarpe, ni de celles que l'on conduisoit sous l'eau du fossé, parce que cela ne se pratique plus. *De Ville* en donne la maniere en faisant des puits capables de tenir quatre hommes à côté les uns des autres; ensorte que l'on peut se donner la terre de l'un à l'autre, ce qu'il appelle *mines à cascades*.

Il n'est guere plus nécessaire de parler des moyens de faire entrer de l'air dans une mine lorsque les travailleurs ont de la peine à y respirer et à y tenir de la lumiere, parce que cela n'arrive que rarement aux mines que l'on fait aujourd'hui, vû le peu de longueur de leur rameau. Cela arrivoit assez souvent autrefois (2) à celles qu'on ouvroit de fort loin ; alors on y remédioit en secouant au-dedans quelque étoffe pour en agiter l'air : ou bien, quand le mal étoit plus pressant, on conduisoit un petit canal de bois d'un demi-pied en quarré jusqu'au dehors de l'entrée de la mine où on ajustoit des ais pour y faire entrer le vent. On se servoit aussi, à la derniere extrémité, de gros souflets (1), ce qui est assurément la meilleure maniere de remédier à de pareils inconvéniens.

---

(1) Voyez dans la *seconde partie* de ce traité des mines, ce que nous disons à ce sujet dans l'article qui a pour titre, *maniere de donner de l'air aux mines*

(2) Cela est encore arrivé de nos jours au siege de Schlweidnitz, où les assiégeans furent obligés d'abandonner une galerie faute d'air. C'est un inconvénient très difficile à prévenir sous le feu de la place.

De la forme et de l'emplacement de la chambre de la Mine.

Après que le mineur a conduit sa mine jusqu'à l'endroit qui lui a été marqué par l'ingénieur, si le bastion est revêtu, il fera, comme je l'ai dit, la chambre de la mine moitié sous la muraille et moitié sous les terres du rempart, d'une forme ovale, sans s'amuser à perdre de tems pour la faire quarrée et pour en rechercher les angles (1). Il la fera de la grandeur nécessaire pour la quantité de poudre dont elle doit être chargée (2). Il faut prendre garde, sur-tout à proportionner cette quantité de poudre à la pesanteur de la muraille et du terrain qu'on veut faire sauter (3); car si on en met trop peu, la mine ne fera pas son effet; si on y en met trop, elle ne fera que son trou, enlevant avec trop de violence ce qui sera au-dessus sans renverser ce qui sera aux deux côtés: c'est en cela que le jugement du mineur ou de l'ingénieur doit se manifester.

On met dans une chambre de mine ordinaire 9 ou 10 barils de poudre chacun d'un quintal (4), et l'on va jusqu'à 20 ou 30 quintaux; selon la hauteur des bastions que l'on veut faire sauter. On n'en met que 2 ou 3

---

(1) La forme cubique offre l'avantage de pouvoir renfermer la poudre dans des boîtes d'une dimension déterminée: on la préfére généralement. La plus avantageuse seroit celle de la sphere, parce que tous les grains seroient, sur tous les cercles égaux, également distans du centre où se fait l'embrasement; mais il n'est guere possible d'approcher de cette forme dans la pratique.

(2) Nous en donnerons les dimensions.

(3) Cette quantité de poudre dépend de la forme et de la grandeur de l'excavation de la mine: on entrera là-dessus dans de plus grands détails dans les articles suivans.

(4) Cela est trop vague: nous verrons que la charge des mines est susceptible de calculs plus exacts.

dans les fougasses qui ne different des mines que par leur peu de profondeur, et par la petite quantité de poudre dont on les charge.

Le mineur doit observer, en conduisant la chambre de la mine, d'en faire le plancher un peu en pente du côté où il veut qu'elle fasse son effet, c'est-à-dire, du côté du fossé, qu'il est avantageux de combler avec les mines du bastion. On a éprouvé par les expériences de Dôle que ce moyen étoit assuré pour faire agir la poudre du côté que l'on souhaitoit (1). *De Ville* indique un autre moyen qui est de laisser quelque vuide dans la chambre du côté du fossé ; il dit l'avoir éprouvé plusieurs fois. Quoi qu'il en soit, l'un et l'autre expédient est facile à pratiquer.

Il n'est pas nécessaire d'ajouter ici que le meilleur moyen pour empêcher qu'une mine soit éventée par l'ennemi, c'est d'employer toute la diligence imaginable à la mettre en état. Si cependant le mineur assiégeant appréhende que celui de la place travaille à le chercher (2), il peut avec une tariere à une ou plusieurs pieces, pour lui donner toute la longueur nécessaire (3), faire quelques trous dans le terrain du côté par où l'ennemi peut s'avancer vers lui, et prêter l'oreille à ces trous pour entendre si on travaille auprès de lui.

(1) La théorie démontre la nécessité de cet effet; car ce plan réagit suivant une direction qui lui est perpendiculaire. Il est donc bon dans tous les cas que ce plan soit lui-même perpendiculaire à la ligne de moindre résistance, afin de réagir dans ce sens. La construction du puits sera alors la même pour les deux cas où la ligne de moindre résistance est parallele ou perpendiculaire à l'horizon.

(2) Nous reprendrons cette matiere dans la suite de ce traité, à la fin de l'article *de l'attachement des mineurs*, en parlant de la guerre souterraine qui se fait de mineur à mineur.

(3) Voyez sur la Planche II plusieurs dessins de ces tarieres et des morceaux qui s'y ajustent pour les alonger autant que l'on veut.

Maniere de charger la chambre de la Mine (1), et d'en fermer l'entrée.

Lorsque la chambre de la mine est en etat, le mineur arrange les barils de poudre proche les uns des autres, observant de les ouvrir par le bas, afin que la poudre, étant répandue, prenne feu par tout en même tems. Mais si la muraille et le terrain sont secs, il pourra répandre la poudre à terre dans la chambre sans barils. Si le terrain est humide, il mettra la poudre dans des sacs de toile goudronnés, observant de leur donner quelques taillades dans leur longueur. Quand le transport de la poudre dans des barils est trop difficile, on peut pareillement se servir de sacs de coutil pour l'apporter à la mine.

Les barils étant rangés, ou la poudre mise en tas, le mineur se sert d'un saucisson pour y donner le feu. Ce saucisson est proprement une espece de chausse de toile large de deux ou trois pouces, et aussi longue que la galerie de la mine, que l'on remplit de poudre fine. On en met un bout au milieu de la poudre répandue dans la chambre, et on la conduit le long de la galerie jusqu'à son entrée sur de petits ais recouverts d'une espece de gouttiere, ou encore mieux dans un auget ou canal de bois, pour qu'elle ne contracte point d'humidité, et pour que les traverses, les pieces de bois, les pierres, la terre et les autres matieres dont on ferme l'entrée de la chambre n'écrasent point le saucisson, et n'empêchent point le feu de s'y communiquer. Si le terrain est fort humide, pour plus de sureté, il sera bon de goudronner le saucisson.

(1) On peut voir ce que *Vauban* enseigne encore sur ce sujet vers la fin de cette premiere partie.

Le mineur ferme ensuite la chambre de la mine avec de bons ais de trois pouces d'épaisseur, plus longs que la largeur de la galerie, afin qu'étant mis au-dedans de la chambre, vis-à-vis de son entrée, et qu'étant ainsi arrêtés, ils résistent davantage à l'effort de la poudre. Il les arc-boute encore par derriere avec de bons étançons mis en croix de S. André, dont une des extrémités entre dans le terrain du côté de la mine. Il remplit ensuite ce vuide avec de la terre ou des pierres, et fait une muraille à sec, dont il remplit les vuides avec du grand fumier : après quoi il met une seconde traverse d'ais qui entrent dans les entailles que l'on fait par deux côtés de la galerie, comme on le peut voir par le profil qui est au bas de la *planche* I. Il arc-boute encore ceux-ci comme les premiers, et en remplit de même le vuide avec de la terre ou des pierres, continuant ainsi jusqu'à l'entrée de la galerie qu'il ferme bien, en ne laissant du jour en bas que pour passer la tête du saucisson renfermé dans son auget, dont la poudre doit être préparée pour faire une longue fusée, afin que celui qui y met le feu ait le tems de se retirer. *Voyez sur les planches* 2, 3 *et suivantes*, divers dessins de mines qui représentent la maniere de boucher et d'étançonner la chambre de la mine ainsi que la galerie qui y conduit.

Après avoir parlé de la conduite des galeries de mines, il n'est pas hors de propos de dire quelque chose sur les moyens dont les assiégés se servent pour se garantir des effets de la mine en se contre-minant.

Des moyens dont l'assiégé se sert pour prévenir l'effet des Mines.

Si le bastion est vuide, les assiégés ont beaucoup de facilité à percer le rempart en plusieurs endroits, pour

aller chercher le mineur du côté où ils jugent qu'il peut s'être attaché. Mais s'il est plein, ils font des puits à l'endroit où ils pensent que le mineur doit travailler: observant, s'il se peut, de faire ces puits de maniere qu'ils servent au fossé de leurs retranchemens. Après quoi ils conduisent du fond de ces puits quelques rameaux de mines du côté qu'ils soupçonnent que l'on travaille.

Il y a plusieurs manieres de reconnoître ce travail du mineur ennemi : on peut pour cet effet mettre des tambours sur le terre-plain du rempart, ou au fond des puits, avec des dez, des pois secs, ou des grelots dessus, parce que chaque coup que donne le mineur qui travaille dessous, les fait sauter. On reconnoît la même chose avec des bassins pleins d'eau mis sur terre, parce que l'on ne peut travailler dessous qu'on ne voie cette eau tressaillir.

Il y en a qui se servent d'une aiguille suspendue au bout d'un fils au-dessus d'un bassin un peu profond: ils prétendent que les coups que l'on donnera sous le terrain où il est placé, feront heurter l'aiguille contre le bassin. D'autres se servent d'une plaque de fer épaisse d'un demi-doigt qu'ils ajustent bien sur le terrain, ensorte qu'il n'y ait point d'air dessous : ils assurent qu'on ne peut travailler au-dessous de cette plaque que l'on n'entende tous les coups en mettant l'oreille dessus.

Lorsque les assiégés ont reconnu l'endroit où le mineur ennemi travaille, ils tâchent d'y conduire un rameau, observant de faire la derniere diligence lorsqu'ils n'entendent plus les coups de pics, parce que c'est un signe que l'on travaille à fermer la mine. S'ils trouvent la chambre de la mine chargée, ils tâchent d'en dérober la poudre, ou ils jettent beaucoup d'eau dessus. S'ils rencontrent les mineurs, ils tâchent de les

chasser de la galerie à coups de pistolets et de grenades, ou en se retranchant dans cette galerie, et laissant derriere leur retranchement quantité de matieres fumantes allumées pour étouffer les assiégeans s'ils viennent à le rouvrir. C'est pour cette raison que ceux-ci ne doivent point s'obstiner à vouloir forcer ces retranchemens que les mineurs assiégés auront fait dans la galerie pour leur en fermer le passage; mais ils doivent plutôt travailler à faire une nouvelle chambre avec une nouvelle galerie.

Réflexions sur les effets de la poudre dans les Mines.

Quoique l'action de la poudre enflammée soit d'une force incompréhensible, on n'a pas laissé de trouver des moyens de soumettre ses efforts à des règles certaines. Par exemple, les canons de toutes especes, et toutes les armes à feu dont on se sert, se chargent toutes avec des quantités de poudre mesurées (1).

On a long-tems agi par estimation sur la quantité qu'il en falloit pour charger les mines, sans avoir rien de déterminé sur le plus ou le moins de leur charge; mais à force d'étude et d'expériences faites depuis 50 ou 60 ans, on est parvenu à trouver les proportions convenables; d'où il suit que leur usage peut avoir présentement des regles aussi certaines que celles des armes à feu (2), c'est de ces expériences réitérées plusieurs

(1) C'est l'expérience seule qui a établi les regles de ces mesures.

(2) Il n'est pas exactement vrai que l'on soit parvenu à trouver des regles certaines sur ce qui concerne les mines. La nature des différens terrains dans lesquels on les fait jouer, les changemens que l'humidité, les variations de l'air, et mille autres circonstances produisent dans la force de la poudre, ne permettent pas de présumer qu'on parvienne jamais à trouver avec une entiere précision, la quantité nécessaire pour la

fois, qu'on a tiré les connoissances suivantes (1).

I. Pour enlever une toise cube de terre commune, il y faut employer 12, 15 à 18 livres de poudre. Pour les grosses murailles solides, et de long-tems rassises, il en faut 20 ou 25 livres, un peu plus ou un peu moins, selon la bonté de la poudre et la ténacité des terres.

II. Pour contenir 80 livres de poudre, il faut un peu plus d'un pied cube de vuide (2).

III. La poudre agit toujours contre le plus foible de la mine; ainsi il est aisé de lui faire faire son effet du côté qu'on voudra, puisqu'il n'y a qu'à mettre le foible de ce côté-là.

IV. Si on fait une mine en terrain dont la superficie soit de niveau, son effet formera un cône tronqué et renversé, la pointe en bas, dont la base sera double de la hauteur du cône entier.

V. En fait de mine, celui qui tient le dessous a toujours l'avantage, parce qu'il est en état de faire sauter celui qui est dessus.

De la première de ces maximes, il s'ensuit qu'on peut supputer la quantité de poudre nécessaire à toutes sortes de mines; car supposé que vous ayez à faire breche dans un rempart qui vous paroisse de 32 pieds d'élévation; si vous en rabattez 6 pour la hauteur du parapet, il restera 26 pour l'élévation du rempart que vous voulez ouvrir. Joignons à cela,

---

charge des mines. Tout ce que les expériences en pareille matiere, peuvent donner, sont seulement des approximations, il faut les répéter un grand nombre de fois, et dans des terrains différens, pour s'assurer des effets qu'elles produisent.

(1) Pourquoi donc Vauban donne-t-il précédemment une estimation vague: *voyez page 22, et la note au bas.*

(2) Pourquoi Vauban ne dit-il pas ici comme dans la suite, que le pied cube contient à-peu-près 64 liv. de poudre?

La considération du revêtement, qui étant d'une matiere plus solide que la terre du rempart, mérite aussi une attention particuliere.

2°. La conjecture de l'épaisseur du rempart, que vous ne pouvez pas connoître; ainsi, réflexion faite, vous ne devez donner à cette galerie que le tiers, ou la moitié au plus de cette hauteur, savoir 12 ou 13 pieds de long directement, non compris les retours, de peur que si on la poussoit plus loin, la mine ne fît son effet du côté de la place, et ne vous privât des avantages que vous voulez en tirer.

Maniere de supputer l'excavation des Mines.

L'éboulement d'une mine est le trou, ou l'excavation que laissent les terres qui en ont été chassées. Ce trou a la forme d'un cône tronqué, dont sa chambre est la partie qui approche du sommet; le diametre de la base supérieure de ce cône est double de sa profondeur (1).

---

(1) *Il faut ajouter:* et celui de la base inférieure, ou vers le sommet, est égal à la hauteur des terres au-dessus du fourneau, ou égal à *la ligne de moindre résistance.* C'est ainsi qu'on nomme la plus courte perpendiculaire, qu'on peut élever sur un des côtés du fourneau, jusqu'à la superficie du terrain, comme G H, *Figure 7.*

Vauban fait le calcul de l'excavation d'une mine, en supposant qu'elle forme un cône, dont la pointe ou le sommet est au milieu du fourneau; ce qui n'est pas exact. Car on a trouvé par l'expérience, que cette excavation étoit un cône tronqué (*Vauban savoit que ce cône est tronqué; il le dit lui-même précédemment, paragraphe IV*), dont le diametre de la base ou de l'ouverture supérieure de la mine, étoit double de la ligne de moindre résistance, et que celui de la petite base de ce cône tronqué, imaginée passer par le centre du fourneau, étoit égal à cette ligne, comme on vient de le faire remarquer.

En se servant de ces deux observations, on peut facilement toiser le cône tronqué enlevé par la mine. On en connoît la hauteur, qui est celle de la profondeur des terres, où le fourneau doit être placé. On connoît le diametre de l'ouverture de la mine, qui est double de cette

Supposons que ABCD, (Pl. I, *fig.* 7.), *soit le profil de la chambre, et que* G H, *soit la hauteur des terres au-dessus; ajoutez à la hauteur* H G, *la moitié de la largeur* A B *de la même chambre, vous aurez la profondeur entiere du cône* H G, *dont le diametre* E F *est le double.*

---

ligne, et enfin celui du fond de l'excavation qui lui est égal: connoissances suffisantes à tout géometre pour toiser le cône tronqué dont il s'agit. Après quoi on détermine la quantité de poudre dont le fourneau de la mine doit être rempli, en multipliant les toises de la solidité du cône tronqué par le nombre de livres de poudre dont il est besoin pour enlever une toise du cube du terrain dans lequel se fait la mine.

Valliere, lieutenant-général des armées de france, et inspecteur général des écoles d'artillerie, homme célebre dans la science des mines, et à qui l'artillerie doit beaucoup, a trouvé que l'excavation de la mine étoit un paraboloïde solide, qu'on peut considérer comme une espece de cône tronqué arrondi, dont la petite base formeroit une calotte sphérique. Il a trouvé aussi que le diametre de l'ouverture de la mine sur le terrain, étoit double de la ligne de moindre résistance, ou de la ligne qui exprime la hauteur des terres au-dessus du fourneau; et enfin que le diametre de la section de ce solide, faite par le lieu où est placé le fourneau, étoit égal à cette ligne. Ce qui suffit pour pouvoir toiser le paraboloïde que forme l'excavation de la mine. Mais comme ce solide ne differe pas du cône tronqué de même base et même hauteur, d'une quantité considérable, on peut, sans erreur sensible, calculer les mines par le moyen du cône tronqué, parce que son calcul est un plus simple que celui du paraboloïde.

Il est à propos de faire observer ici, que, malgré les expériences dont nous venons de parler, qui servent de base au calcul des mines, plusieurs auteurs modernes croient néanmoins qu'on peut faire le diametre de l'ouverture supérieure de la mine plus grand que le double de la ligne de moindre résistance. C'est ce qu'on voit dans plusieurs nouveaux ouvrages sur l'artillerie, imprimés à Paris, entre autres, dans la *théorie sur le méchanisme de l'artillerie* par *Dulacq*, officier d'atillerie du roi de Sardaigne, et dans l'*Artillerie raisonnée*, par *le Blond*, maître de mathématiques de Mr. le dauphin. Cet auteur rapporte le résultat de plusieurs expériences faites en 1729, à l'école d'artillerie de la Fere, suivant lesquelles il paroît que plus les fourneaux ont été chargés, et plus

Pour avoir présentement la solidité de ce cône, multipliez cette profondeur par elle-même, vous aurez son quarré; multipliez ce quarré par la même profondeur, vous aurez le solide de l'excavation.

On propose cette méthode, parce qu'elle est simple, et la plus abrégée de toutes (1). L'exemple qui suit, éclaircira ce fait.

Supposons la largeur de la chambre AB CD (Pl. I, *fig.* 7.) de deux pieds et demi, la hauteur de la terre au-dessus GH, de vingt-deux; ajoutez-y la largeur de la moitié de la chambre, savoir un pied et un quart, la somme

---

l'excavation a été grande; comme aussi que le diametre du fond de l'excavation est bien moindre que la ligne de moindre résistance. Ces expériences peuvent apporter quelque changement dans le calcul ordinaire des mines; cependant il semble qu'on doit le conserver jusqu'à ce que les expériences de la Fere soient confirmées par d'autres expériences faites dans des terrains différens. On le doit d'autant plus, que même, suivant l'auteur qu'on vient de citer, la méthode ordinaire ne peut manquer de produire les effets qu'on en attend, et même de plus grands, attendu que les mines se trouvent chargées de plus de poudre qu'il n'en est besoin: cest pourquoi comme il ne s'agit ici que d'une économie de poudre, qui ne fait pas un objet fort important, la prudence demande qu'on ne quitte pas aisément une méthode dont l'expérience prouve la bonté, et dont l'inconvénient, si tant est qu'elle en ait, ne roule absolument sur rien de bien essentiel.

(1) Le toisé du cône, tel que Vauban l'enseigne ici, donne, à peu de chose près, la solidité exacte de ce solide. Car *le cube du diametre du rayon d'un cercle, est au cône qui auroit ce cercle pour base, et pour hauteur son rayon, comme ce rayon est à la sixieme partie de circonférence du cercle.* Or comme le rayon differe de peu de chose de la sixieme partie de la circonférence du cercle; il s'ensuit donc, etc. On auroit ce toisé plus exactement par une *regle de trois*, de cette maniere. Comme le rayon est à la sixieme partie de la circonférence du cercle, de même le cube du rayon est au quatrieme terme, qui seroit la solidité du cône. Ou en faisant celle-ci : comme 21 est à 22; ainsi le rayon du cercle est à la solidité du cône, etc.

fera vingt-trois et un quart; supposons quatre toises, pour éviter les fractions; multipliez quatre par quatre, vous aurez seize pour son quarré, que vous multiplierez encore par quatre, pour avoir son cube 64, qui marque assez précisément la quantité de son excavation.

Quoique ce calcul ne soit pas parfaitement exact, il suffit néanmoins pour la pratique, où un peu plus ou un peu moins n'apporte aucune différence sensible, et sa simplicité le doit faire préférer à un plus exact qui seroit plus embarrassant.

Pour savoir la quantité de poudre dont vous devez charger la mine, il n'y a qu'à multiplier la quantité de toises cubes que vous avez trouvé, par 15 livres; ainsi 64 multiplié par 15, vous donnera 960 livres, pour la charge de cette mine, à laquelle ajoutant un cinquieme à cause de la maçonnerie, et de l'humidité que les poudres peuvent contracter dans la mine même, ou dans le parc, ou même dans les magasins, vous aurez 1152 liv. pour la charge la plus raisonnable de cette mine (1).

Remarquez que si le terrain de la mine étoit peu lié et sablonneux, on pourroit épargner le cinquieme de la poudre.

Ceux qui ont recherché à fond les propriétés les plus précises des mines, ont trouvé qu'un pied cube de poudre pese environ 80 livres (2). Ainsi divisant les 1152 livres de poudre de la mine précédente par 80, l'on aura 14 pieds, et un peu plus, pour le cube de la poudre; mais la chambre des poudres doit occuper un espace d'un tiers, ou environ, plus grand que le cube de la poudre qu'elle doit contenir, à cause des planches, sacs à terre, et pailles dont on se sert pour mettre séchement la poudre;

(1) Cette addition n'est fondée sur aucun principe.

(2) Même erreur que précédemment.

c'est

c'est pourquoi l'excavation totale doit occuper 18 à 20 pieds cubes de vuide.

Le calcul raisonné ci-dessus, se réduit à supposer une mine en plein terrain, dont l'effet également retenu de tous côtés par le bas, ne se peut faire que par le haut; mais comme l'excavation de cette mine ne vaudroit rien dans un siege, où la mine doit faire breche dans un rempart, en le renversant dans le fossé; ce qui ne se peut qu'en plaçant la chambre de la mine de sorte que le foible se trouve du côté où l'on veut que se fasse l'effet: par exemple, soit un rempart de 30 pieds de haut, comme celui qui est représenté (Pl. I. *fig*. 8.); il faut établir le fourneau, ou la chambre A, de sorte que l'effort se fasse du côté B, et non du côté C, en tenant la partie AB, plus foible que la partie AC, et que toutes les autres qui environnent la chambre A. Pour connoître à-peu-près le degré de foiblesse qu'il faut donner à AB, par rapport à AC, on a reglé la profondeur de la galerie dans les terres sur le pied de la moitié de la hauteur du rempart; de sorte que s'il a 30 pieds de haut, le mineur doit s'enfoncer de 12 à 15 pieds directement; car,

1°. Si la chambre étoit poussée aussi avant dans les terres, que le rempart a de hauteur, c'est-dire, en D, il est certain que l'effet se feroit du côté de C, comme le plus foible; et pour lors l'excavation formant le cône renversé EDF, toute la muraille de F en B resteroit debout, outre que la plus grande partie des terres enlevées, retomberoient dans leur trou.

2°. Faisant la chambre à 12 ou 15 pieds de profondeur, égale à la moitié de la hauteur du rempart, tout l'effort se fera du côté de B, comme le plus foible, pour lors l'effet cherchera à former le cône AIH; mais étant empêché par le bas de B à I, l'effort ne perdant

rien (1), se trouvera d'autant vers le haut, qu'il aura été retenu; et par conséquent il se portera de H en K, de sorte que l'effort de la mine placée en A, avancée de la moitié de la hauteur de la terre, ou de la maçonnerie, fera l'excavation ABK, qui est toute la muraille, qui tombant entièrement, entraînera avec elle, non seulement les terres qu'elle avoit à soutenir, mais encore celles que l'effort de la mine aura ébranlé.

C'est sur ce raisonnement qu'on a fait la table suivante, composée de quatre colonnes.

La premiere, marque en pieds les différentes hauteurs des remparts au-dessus des mines, depuis 10 jusqu'à 80 pieds.

La seconde, marque en pieds les différens enfoncemens des chambres, qui sont égaux à la moitié de la hauteur des remparts.

La troisieme, marque les dimensions en pieds et pouces courans des chambres, les supposant de figure cubique, et dont les capacités sont d'un tiers (ou approchant) plus grandes que les cubes des poudres qu'elles doivent contenir, à cause des planches, pailles, sacs à terre, etc. dont on fait le lit des poudres.

La quatrieme, marque la quantité de poudre nécessaire à la charge des mines indiquées dans les autres colonnes à côté, sur le pied de 15 livres de poudre par toise cube de terrain à enlever : pour les grosses maçonneries il faudroit faire son calcul sur le pied de 20 liv de poudre par toise cube. (2)

(1) Ceci n'est pas exacte; la résistance au mouvement lui fait toujours perdre quelque chose. *Voyez la note de la page* 11.

(2) Des expériences faites depuis Vauban, fixent une plus forte charge pour les maçonneries de cette qualité : nous en donnerons une table.

TABLE

Pour les différentes grandeurs des mines dont on se peut servir dans les sieges, suivant la moindre épaisseur des terres où elles ont à chasser depuis 5 pieds jusqu'à 40, ou depuis 10 pieds de hauteur de rempart jusqu'à 80 pieds.

Hauteur des remparts au-dessus des chambres	Profondeur des galeries jusqu'aux chambres	Mesure des chambres en pieds et pouces courans.		Quantité de poudre nécessaire à la charge des mines
10 *pieds.*	5 *pieds.*	0 *pieds.*	7 *pouc.*	10 *livres.*
12	6	0	8	18
14	7	0	10	28
16	8	0	11	42
18	9	1	1	60
20	10	1	2	82
22	11	1	3	109
24	12	1	4	142
26	13	1	5	180
28	14	1	7	226
30	15	1	9	277
32	16	1	10	336
34	17	1	11	403
36	18	2	1	479
38	19	2	2	564
40	20	2	4	617
42	21	2	5	761
44	22	2	6	875
46	23	2	8	1000
48	24	2	9	1136
50	25	2	10	1294
52	26	3	0	1444
54	27	3	1	1617
56	28	3	3	1803
58	29	3	4	2004
60	30	3	6	2218
62	31	3	7	2447
64	32	3	8	2692
66	33	3	10	2952
68	34	3	11	3229
70	35	4	0	3522
72	36	4	2	3883
74	37	4	3	4161
76	38	4	4	4510
78	39	4	6	4873
80	40	4	7	5258

Au défaut de cette Table, qu'on ne peut pas toujours avoir avec soi, il y a un moyen simple pour trouver la mesure des chambres, et la quantité de poudre qui leur convient.

1°. Prenant la neuvieme partie de la moindre épaisseur de terre, ou de maçonnerie jusqu'à la mine, on aura, à-peu-près, la mesure des chambres en tout sens.

2°. Pour la quantité de poudre, prenant le cube de la moindre épaisseur de terre, ou de maçonnerie, et retranchant la derniere figure, le reste sera la quantité nécessaire, sur le pied de 18 livres pour chaque *toise* cube; mais si on n'en veut donner que 15 *livres*, il faudra retrancher un sixieme du nombre resté, de même pour 12 livres par toise cube, il en faudroit retrancher un tiers.

EXEMPLE.

Supposons une moindre épaisseur de 20 pieds, la neuvieme partie sera 2 pieds 3 pouces pour la mesure de la chambre en tout sens. Pour les poudres, supposant la même épaisseur de 20 pieds, le cube de 20 est 8000; retranchant la derniere figure, reste 800, qui est la quantité de poudre qu'il faut à 18 livres par toise cube.

Si l'on n'en vouloit donner que 15 livres, comme 15 livres different de 18 livres d'un sixieme, il faut retrancher un sixieme de 800, restera 667 livres, nombre assez conforme à celui de la table, parce qu'on l'a faite sur le pied de 15 livres par toise cube; ainsi à 12 livres par toise cube, il faudroit retrancher un tiers, parce que 12 est un tiers moindre que 18; ôtant le *tiers* de 800, restera 534 livres, pour la quantité de poudre nécessaire à une mine enfoncée de 20 pieds, remarquant qu'à 18 livres c'est beaucoup, et qu'à 12 livres c'est bien peu.

USAGE DE LA TABLE PRÉCÉDENTE.

Connoissant la hauteur du rempart, connoître la capacité de la Mine qui y convient.

EXEMPLE.

Si le rempart a 30 pieds de haut, cherchant dans la premiere colonne des hauteurs du rempart, le chiffre 30, vous trouverez vis-à-vis, dans la seconde colonne, 15, qui est l'enfoncement du niveau dans les terres. Dans la troisieme, le chiffre 1 pied 9 pouces, marque la dimension de la chambre en tout sens; c'est-à dire, 1 pied 9 pouces de haut, sur 1 pied 9 pouces de large, et autant de profondeur; et dans la quatrieme colonne vous trouverez 277, qui est le nombre de livres de poudre nécessaire à charger la chambre, auquel vous pouvez ajouter un tiers ou un quart, à cause de la solidité du revêtement, et de l'humidité des poudres; ainsi, si à 277, vous ajoutez le tiers (1), vous aurez 370 livres pour la charge de la mine. La précision est ici peu nécessaire; vous ferez la même chose pour toutes les autres hauteurs.

Remarquez 1°. que quand on fixe la longueur des galeries directes à moitié de la hauteur, cela ne doit pas toujours se prendre au pied de la lettre, et que cela doit s'entendre sans compter les retours (2).

---

(1) Pourquoi Vauban ajoute-t-il ici le tiers, tandis qu il a fixé cette augmentation au cinquieme, page 32 ? Quoiqu'il ne s'agisse point d'une exactitude mathématique, au moins faut-il appliquer les mêmes regles dans les cas identiques.

(2) Ce n'est pas par la longueur de la galerie et de tous ses contours quil faut estimer l'enfoncement de la chambre de la mine dans les terres, ou dans la maçonnerie qu'on veut faire sauter, mais par la longueur de la ligne de moindre résistance, ou de la ligne la plus courte qu'on peut élever perpendiculairement sur un des côtés du four.

2°. Que quand il s'agit d'ouvrir de grandes excavations, il vaut mieux séparer les mines en plusieurs chambres, parce que cela fait bien plus d'ouvertures (1).

De sorte que s'il s'agissoit d'ouvrir un rempart de 80 pieds de haut, la premiere colonne donneroit 80 pieds; la seconde, 40 de galerie; la troisieme, 4 pieds 7 pouces quarrés de chambres; et la quatrieme 5218 livres de poudre pour la charge: en ce cas, on pourroit pousser la galerie en avant de six pieds de moins, et ajouter environ le tiers de 5218, viendra 7010 livres de poudre pour la vraie charge, qui divisée en trois, produiroit de quoi charger une mine *treflée*, à trois chambres, dont la charge, si elles étoient égales, seroit de 2336 livres de poudre pour chacune; mais parce que celle du milieu doit être enfoncée de 7 à 8 pieds plus que les autres, j'y mettrois 3010 livres de poudre, et 2000 livres dans chacune des autres; ce qui ne pourroit manquer de produire un grand effet (2).

A l'égard de la grandeur des chambres qui peuvent convenir à ces différentes quantités de poudre, il n'y a qu'à prendre garde au nombre de la quatrieme colonne qui approche le plus de cette quantité; ainsi 2952, étant le chiffre qui a le plus de rapport à 3010, je regarde vis-à-vis dans la troisieme, il s'y trouve 3 pieds 10 pouces pour la hauteur, longueur et largeur de la chambre; et à l'égard de celles de 2000 livres, la capacité des chambres se trouvera vis-à-vis le nombre de 2004,

---

neau jusqu'à la superficie des terres, ou de la maçonnerie opposée à ce côté.

(1) Vauban dit, page 20, que les expériences faites à Dôle, ont donné des résultats contraires à cette maxime.

(2) Tout cela peut-être d'un bon effet; mais Vauban ne fonde ses résultats que sur son excellent tact, et non sur aucun principe qui puisse guider le mineur ordinaire.

qui est celui de la quatrieme colonne qui en approche le plus près. Je regarde donc à la troisieme colonne vis-à-vis, et je trouve 3 pieds 4 pouces, qu'il faut entendre en tout sens, comme la précédente, pour la grandeur des chambres qui leur conviennent, et ainsi de toutes les autres. Remarquez que bien que les regles de la table soient bonnes par elle-mêmes, il se trouve de si grandes différences tant dans la qualité des terres, dont les unes sont glaises, les autres grasses, d'autres sablonneuses, et d'autres mêlées de roc ou roçailles, et même d'autres de roç solide, que dans la solidité des revêtemens, les uns résistant incomparablement mieux que les autres, et qu'il y a tant d'inégalité d'ailleurs dans la force des poudres, que le plus sûr est de fortifier toujours la charge, le plus ne pouvant guere faire de mal (1), au lieu que le moins en feroit beaucoup.

3°. Il est d'une importance extrême d'égaler les feux pour les pouvoir donner justes à plusieurs chambres à la fois, et non-seulement on doit bien prendre garde de tenir la saucisse séchement, et de ne pas trop la presser dans les augets, mais il la faut bien compasser; ensorte qu'il n'y en ait pas un demi-pouce de long à l'un des bras de la mine, plus qu'à l'autre. Dans celles où il y a plusieurs fourneaux, comme les galeries doivent être de différente longueur, il faut faire aller la saucisse de droite à gauche, dans la galerie, en forme de zigzag, comme elles sont représentées aux planches II et III, et sur tout bien placer le foyer, qui est le lieu choisi pour donner feu à la mine.

---

(1) Vauban dit, page 22, *si on y en met trop (de poudre), elle ne fera que son trou, enlevant avec trop de violence ce qui sera au-dessus, sans renverser ce qui sera aux deux côtés.*

On joint ici la table de Valiere pour la charge des mines. Elle a été calculée dans la supposition que l'excavation de la mine est un paraboloïde. Elle est plus exacte que celle de Vauban, ayant été calculée sur un solide plus approchant de la véritable excavation de la mine, que celui dont ce célebre maréchal de France s'est servi.

TABLE (1),

Pour la charge des Mines, selon Valiere, Lieutenant-général des armées, et inspecteur général des Écoles d'Artillerie.

Longeur des lignes de moindre résistance.	Quantité de poudre dont les mines doivent être chargées.		Longeur des lignes de moindre résistance.	Quantité de poudre dont les mines doivent être chargées.	
pieds.	*livres.*	*onces.*	*pieds.*	*livres.*	*onces.*
1	0	2	21	868	3
2	0	12	22	998	4
3	2	8	23	1140	10
4	6	0	24	1296	0
5	11	11	25	1558	9
6	20	4	26	1647	12
7	32	2	27	1815	4
8	48	0	28	2058	0
9	68	5	29	2286	7
10	93	12	30	2530	4
11	124	12	31	2792	4
12	162	0	32	3072	0
13	205	15	33	3369	1
14	257	4	34	3680	12
15	316	4	35	4019	8
16	324	0	36	4374	0
17	460	9	38	4748	11
18	546	12	38	5144	4
19	643	0	39	5561	2
20	750	0	40	6000	0

(1) Cette table a le défaut de ne distinguer aucune qualité de ter[illegible]

De l'attachement du Mineur.

Après avoir suffisamment expliqué l'effet et la nature des mines, il faut maintenant en expliquer l'usage.

L'attachement du mineur (voyez la figure qui est au haut de la planche II) se fait au milieu des faces, ou bien au tiers, à le prendre du côté des angles flanqués des bastions, demi-lunes, ou autres ouvrages équivalens. Il vaudroit mieux que ce fût en approchant des épaules, parce que l'effet de la mine couperoit partie des retranchemens, s'il y en avoit; mais on s'attache, pour l'ordinaire, à la partie la plutôt en état et la plus commode. Cet attachement doit toujours être précédé de l'occupation du chemin couvert, et de l'établissement des batteries nécessaires sur le même chemin couvert, de la rupture des flancs, qui peuvent avoir vue sur le logement du mineur, et de la descente et passage du fossé, auquel il faut ajouter un logement capable de contenir 20 ou 30 hommes dans le même fossé, pour la garde du mineur.

Dans le tems qu'on acheve ces préparatifs, on doit travailler à l'établir; ce qui se fait en deux manieres; l'une ancienne, et l'autre moderne. L'ancienne est d'envoyer deux ou trois travailleurs, qui s'enfoncent dans les décombres tombés au pied du revêtement, où ils font place pour poser des madriers, remarquant que si c'est un fossé plein d'eau, il faut se mettre en état de commencer l'œil de la mine à un pied au-dessus de la superficie de l'eau, supposé que l'assiégé ne la puisse pas élever davantage (1). Si c'est un fossé sec,

(1) C'est une circonstance dont il faut être parfaitement instruit, pour ne pas voir noyer ses mines. Il faut dans tous ces cas s'attacher à un pied *au-dessus des plus hautes eaux*. Aujourd'hui l'on fait plus com-

il le faut commencer le plus près du fond qu'on pourra, afin de tenir toujours le dessous.

Après que la place est préparée, on y fait porter 6, 7 ou 8 madriers de 7 à 8 pieds de long chacun, sur un de large et 4 pouces d'épais, couverts de fer-blanc, à cause des feux d'artifice. On les appuie, bien joints les uns aux autres, contre le mur, leur donnant assez de pied pour que deux mineurs puissent se loger dessous un peu commodément et y travailler à leur aise; on les couvre après cela de peaux de bœuf fraîchement tués, quand on en a, et on bouche l'ouverture sous les madriers du côté du flanc, avec des sacs à terre, donnant toute l'épaisseur qu'on peut à cet épaulement.

Après cela on fait entrer le mineur sous les madriers, qui commence aussitôt à percer dans le revêtement, et à s'enfoncer dans le corps du mur du mieux qu'il peut.

Il faut avouer que cette méthode est dure, longue et très dangereuse; et qu'elle a fait périr une infinité de mineurs; car ils sont long-tems exposés;

1°. Au canon des flancs dont l'ennemi vous dérobe toujours quelques coups de tems en tems, quoiqu'il soit démonté et en grand desordre, parce qu'il y remet de nouvelles pieces avec lesquelles il tire, quand il peut, et ne manque guere le logement du mineur.

2°. Au mousquet des tenailles et des flancs hauts et bas, s'ils y en a qui soient un peu en état.

3°. Aux pierres, bombes, grenades et feux d'artifices, que l'ennemi tâche de pousser sur lui du haut en bas des parapets.

4°. Au surprises de sorties dérobées qu'on ne manque

---

munément la breche à coups de canon: cette méthode est moins longue et d'un effet plus assuré.

pas de faire fort fréquemment, et par-dessus cela, à toutes les ruses et contradictions des contre-mines.

De sorte que la condition d'un mineur en cet état, est extrêmement dangereuse, et recherchée de peu de gens; et ce n'est pas sans raison qu'on dit que ce métier est le plus périlleux de la guerre.

Quand cet attachement est favorisé du canon en batterie sur les chemins couverts, c'est toute autre chose, le péril n'en est pas, à beaucoup près si grand. On lui enfonce un trou de 4 ou 5 pieds de profondeur au pied du mur, où il se loge et se met à couvert, en fort peu de tems, du canon et du mousquet des flancs, des bombes et grenades et des feux d'artifices, qui ne peuvent plus rien faire, peu de tems après son attachement; il n'a plus que les sorties et les contre-mines à craindre.

Ajoutons à cela, que si après avoir décombré et vuidé son trou de ce qu'il aura trouvé d'ébranlé par le canon, il en ressort pour un peu de tems, et qu'on recommence à y faire tirer 50 ou 60 coups de canon bien ensemble, cela contribuera beaucoup à l'agrandir et à l'enfoncer.

Ce même canon lui rend encore un bon office, quand il y a des galeries ou contre mines dans l'épaisseur du mur, parce qu'il les peut enfoncer à droite et à gauche, à quelque distance du mineur, et par ce moyen en interdire l'usage à l'ennemi; il sert même à disposer la prochaine chûte du revêtement, et à la faciliter.

Les mineurs se relevent de deux heures en deux heures, et travaillent avec toute la diligence possible jusqu'à ce qu'ils soient prêts à chambrer. Pendant qu'ils avancent leur ouvrage, on fait approcher les poudres, les sacs à terre, et les fumiers nécessaires au bouchement de la mine, que l'on apporte dans les places d'armes plus prochaines. Les charpentiers de l'artillerie prépa-

rent en même tems les étais, les bois, les planches nécessaires pour soutenir la galerie, et pour la boucher quand la mine est chargée.

La galerie doit avoir trois pieds et demi de haut sur deux et demi de large au moins; et quand on travaille aux rameaux, on réduit, autant que l'on peut, leur galerie à deux pieds et demi de haut, sur deux de large.

Le mineur doit extrêmement se méfier des contremines, écouter souvent s'il n'entend pas travailler pour venir à lui; auquel cas il doit sonder du côté qu'il entendra le bruit. Souvent on en fait d'un côté pendant qu'on travaille de l'autre, pour tromper l'ennemi, ce qui ne se peut guere que quand on est dans les terres; pour lors on peut travailler avec de gros ciseaux plats, qu'on pousse de la paume de la main sans frapper autrement qu'avec le poing sur le manche, pour faire éclater la terre sans bruit.

Si l'ennemi vous presse, il faut le prevenir, s'il se peut, avec quelque fougasse qui l'étouffe dans sa contremine; pour cet effet, on pourroit se servir de sondes faites en tarieres brisées, de deux ou trois pieds, qui s'ajustent les unes aux autres.

Ces tarieres (1), qui sont de différens calibres, s'introduisent dans le trou l'une après l'autre, pour l'agrandir, jusqu'à lui donner cinq à six pouces de diametre; on les enfonce le plus avant qu'on peut, du côté de l'ennemi, comme de 5, 6 à 7 pieds; après quoi on y pousse une grosse gargousse de même calibre, con-

(1) Voyez sur la planche II des dessins de ces tarieres brisées dont les morceaux s'ajustent l'un au bout de l'autre, au moyen d'une espece de tenon claveté qui entre dans une rainure faite exprès pour le recevoir. On voit sur la même planche, la figure et la grandeur des différens outils dont les mineurs ont besoin pour leur travail.

tenant 10 ou 12 livres de poudre, qu'il faut bien boucher et tamponer de votre côté, l'étayer fortement, et y donner le feu par un tuyau percé au milieu du tampon, comme le sont les bombes.

Si la galerie de l'ennemi n'est qu'à 4 pieds de la tête de cette fougasse, il est sûr qu'elle en sera enfoncée.

D'autres se servent de deux à trois bombes jointes ensemble pour faire cet effet; d'autres d'un petit fourneau de 80 à 100 livres de poudre, fait à la hâte pour enfoncer la galerie de l'ennemi, qui quelquefois vous prévient aussi de son côté. Comme il ne manque pas de sonder pour savoir à quelle distance vous êtes de lui, il faut être alerte; et quand le bout de la sonde paroît, être prompt à remplir le trou, quand il la retire, par le bout d'un pistolet, qui étant introduit juste et à propos par un homme assuré, ne manque guere de tuer le mineur ennemi.

Il faut faire suivre ce coup de trois ou quatre autres, et y pousser une sonde pour nettoyer et empêcher qu'il ne le bouche de son côté.

Remarquez qu'il est bon dans ces rencontres d'être précautionné.

1°. D'un plateau de bois, grand comme un plat, de quatre pouces d'épais, avec une cheville dans le milieu, pour le tenir et l'opposer à ce trou, comme un bouclier si l'affaire tourne en dispute.

2°. D'une lance à feu puante, toute prête pour l'introduire dans le même trou, et après lui avoir donné feu, bien boucher de votre côté afin que toute la fumée passe dans la galerie ennemie; d'où on en chassera le mineur pour quelque tems. Il faut profiter de son absence pour chambrer la mine, et pour faire jouer un petit fourneau qui le chasse tout-à-fait de la galerie, et la creve. Selon que les ouvertures sont grandes de l'une

à l'autre, on y insinue quelquefois une bombe qui y fait merveille. D'autre fois des porte-feux, seulement pour l'épouvanter; d'autre fois des grenades : le meilleur est la bombe quand on le peut, parce qu'elle rompt la galerie. Un petard y peut être aussi employé, quand il y reste peu à percer; et pour conclusion, on se fait de part et d'autre le plus de mal que l'on peut.

Voilà à-peu-près les chicanes qui se font sous terre de mineur à mineur, où les plus adroits et les mieux précautionnés ont ordinairement l'avantage; mais quand on craint de tomber dans ces cas, le mieux est de faire jouer une mine médiocre dans le commencement, pour crever les galeries des ennemis, et les en chasser pour deux ou trois jours. Pendant cet intervalle on attache le mineur d'un autre côté, et pour lors on s'enfonce hardiment dans la masse du rempart.

On dit chasser l'ennemi de la galerie, pour deux ou trois jours, parce que la terre s'ébranle et se meurtrit, pour parler en termes de mineur, à 5 ou 6 toises de l'endroit où la mine a joué, et remplit tout de fumée si puante, que personne ne peut en soutenir l'odeur ; ce qui ne fait pas toujours le même effet du côté de l'assiégeant, parce qu'il y a plus d'air, et qu'il n'est pas question d'employer de si longues galeries.

Quand l'effet des mines est soutenu par celui des grosses batteries, établies sur le bord du fossé contre les flancs et les breches, que les bombes sont abondamment servies, et que l'on y joint les pierres, les conditions de l'ennemi deviennent dures, et si mauvaises dans les pieces attaquées, où tombent tous ces orages, qu'il ne s'y peut remuer en grosse troupe sans etre exposé à mille dangers, qui lui tuent à tout moment beaucoup de monde, et affoiblissent d'autant plus la garnison.

De la différence des mines.

Je crois qu'il ne sera pas inutile d'expliquer ici ce que c'est que *mine directe*, *mine double*, ou faite en T; *mine triple ou treflée.* On n'en fait guere de quadruple dans les sieges; cependant on en pourroit faire, et même de quintuple et sextuple, si on vouloit; mais cela seroit long et de peu d'utilité.

La mine simple ou directe est celle qui n'a qu'une chambre et une galerie; par conséquent celle-ci établit sa chambre pour l'ordinaire à la racine des contreforts, quand il y en a, et emploie plus de poudre à proportion que les autres. Pl. II. *Fig.* 2.

Mine double, ou en T, est celle qui après avoir percé l'épaisseur du revêtement, se sépare en deux rameaux, qui s'étendent par derriere le revêtement, et vont chercher la racine des deux contre-forts voisins, dans la solidité desquels on chambre. *Fig.* 1, Pl. III.

Mine triple ou treflée, est celle où, non content de deux fourneaux séparés, on en pousse un troisieme dans les terres, qui va chercher le derriere des contre-forts. Celle-ci en embrasse ordinairement trois, et procure un grand éboulement de terre, et une profonde excavation, quand elle réussit bien. *Voyez la fig.* 3, Pl. II.

Ces fourneaux doivent être faits à égale distance les uns des autres, quand on le peut; mais les porte-feux doivent être nécessairement égaux, avec une grande justesse; autrement il y auroit danger que celui de quelqu'un des fourneaux ne s'étouffât, comme il arrive souvent; c'est à quoi on ne sauroit trop apporter de circonspection. On charge ordinairement de quelques 50 livres de poudre, le fourneau du milieu de plus que les deux autres.

On peut y ajouter plus de fourneaux; mais je crois

qu'en voilà assez pour une breche raisonnable; en tout cas, l'on propose sur les planches II, III et IV, plusieurs plans qui serviront à secourir l'idée de ceux qui en voudront voir davantage.

De la conduite des galeries, et de la chambre de la Mine (1).

La conduite des galeries ne doit pas être directe, il faut, du moins, la briser deux ou trois fois quarrément, ou en angles droits, pour avoir plus de facilité à la bien boucher, et faire même des feuillures de 4 à 5 pouces de large et autant d'enfoncement, dans les endroits qui pourroient servir à rendre leurs fermetures plus solides.

Les chambres doivent être proportionnées à la quantité de poudre que vous y vouliez employer, et qui est à-peu-près reglée par la table ci-devant, pour toutes sortes de mines, grandes et petites; quant à la figure des chambres, les rondes ou les quarrées sont celles qui leur conviennent le mieux.

Il faudra en unir le fond le mieux qu'on pourra, et donner quelque rehaussement à son cul de four, et la bien nettoyer.

Quand aux manieres de charger les mines, il faut en premier lieu, bien prendre garde que le fond de la chambre ne soit pas trop près de l'eau.

En second lieu, de s'enfoncer d'un pied, ou d'un pied et demi plus bas que la galerie, si le fond le permet.

En troisieme lieu, de les bien nettoyer, et préparer ce qui doit servir à leur fermeture.

Et en quatrieme lieu, d'avoir des augets, des saucisses prêtes,

(1) Ce titre et la matiere qui suit, sont une répétition des énoncés et des matieres semblables traitées précédemment pages 18, 19, 22, 24. Est-ce bien Vauban qui a établi cette incohérence?

prêtes, et bien faites. Les saucisses sont de longs boudins de toile, de grosseur à passer un œuf de poule, qu'on remplit de poudre, de maniere qu'elle y soit bien continue et non trop pressée, tout cela étant prêt, on charge.

De la maniere de charger les Mines.

On a autrefois employé trois moyens pour charger les mines. Le premier, avec des barriques entieres, arrangées dans les chambres, dont en ôtant les chapes, on débouchoit les bondons, rompant aussi quelques douves, et répandant un peu de poudre entre deux.

Cette méthode étoit fort incommode dans les lieux étroits, et ne donnoit pas une assez grande facilité au prompt embrasement des poudres, qui est essentiel, pour que la mine ait un grand effet.

On l'a quittée pour charger avec des sacs à terre, remplis de poudre, qu'on a arrangé par tas dans la chambre, le mineur ayant soin de donner un coup de couteau à chacun pour les ouvrir, et de répandre de la poudre entre deux. Plusieurs pratiquent encore celle-ci.

Mais la meilleure de toutes les méthodes est de plancheyer de madriers, si l'on peut, le fond de la chambre, de répandre bien également sur ce plancher, un pouce d'épais de paille, recouverte de sacs à terre vuides, pour empêher que la poudre ne prenne trop tôt l'humidité; après quoi on la verse en tas, comme un monceau de bled, qu'on empêche de toucher au bord de la chambre par la même raison, en continuant d'en garantir tout le pourtour avec de la paille et des sacs à terre, pour éviter l'humidité.

Du Saucisson qui doit porter le feu à la Mine.

Celui qui conduit la charge, est ordinairement un officier des mineurs, un sergent ou du moins un caporal, qui doit avoit grand soin d'introduire le bout de la saucisse dans le milieu des poudres, afin qu'elle puisse porter son feu également, observant encore de la contenir en cet état, par le moyen d'une broche, ou cheville de bois, de trois ou quatre pouces de long, et de cinq ou six lignes de diamètre, dont il la perce de part en part en dedans de la chambre, et le plus près qu'il peut des madriers, pour l'arrêter et empêcher qu'on ne la puisse arracher en la tirant par l'autre bout, ou que la violence du feu de la poudre dans toute la longueur de la saucisse, ne fasse cet effet.

Après cela on renferme sa suite dans l'auget, qui est conduit jusqu'à l'entrée de la mine, observant de tenir toujours le milieu tant qu'on peut.

Manière de boucher la chambre et la galerie de la Mine.

La mine une fois chargée de la quantité de poudre qu'on y veut mettre, on travaille à la boucher, et c'est ce qu'il y a de plus important à faire dans cette conduite, et où il faut que les maîtres mineurs payent le plus d'adresse et de savoir faire.

La mine se ferme par des bouts de madriers fort épais, joints l'un à l'autre, et bien contrebutés; on maçonne tout le vuide avec de gros moëlons et du *fumier* qui lui sert de mortier, serrant les joints avec quantité de bois fait exprès, et battus à la masse. On traverse souvent la galerie de madriers bien soutenus et bien étrésillonnés, ce qui s'observe dans toute sa longueur. A

la porte de la chambre, et au premier retour, on se barre avec plus de soin, avec des madriers bien contrebandés d'étais, et on continue de maçonner avec la même application jusqu'au troisieme ou quatrieme retour, qu'on ferme toujours de même, prenant sur cela toutes les précautions possibles, ayant toujours soin que les autres augets ne se dérangent point, et que la saucisse soit bien conduite, et tenue sèchement.

Quand on juge que la mine est suffisamment bouchée (1), on en demeure là, et pour lors on établit le foyer, ou la lumiere de la mine qu'on couvre soigneusement, en attendant l'ordre d'y mettre le feu.

Disposition de l'Assiégeant avant et après l'effet de la Mine.

Pendant que la mine se bouche, on fait les préparatifs de l'assaut, si l'on en veut donner un, ou du logement sur la breche. Pour cela, il faut avoir une grande provision de *matériaux* et d'outils dans les places d'armes prochaines, et que les batteries de canon, de bombes et de pierriers, soient pourvues pour tirer au moins 50 ou 60 coups par piece.

Il faut un gros détachement de grenadiers, prêt avec ceux qui les doivent soutenir, et tous les travailleurs nécessaires, munis d'outils, de matériaux, etc.; le tout placé, arrangé, on instruira chacun de ce qu'il aura à faire, et on commandera un détachement de 100 travailleurs à la tête, pour déblayer et réparer promptement les désordres que la mine pourra faire aux têtes plus avancées de la tranchée.

Toutes choses étant prêtes, il faudra commencer par

(1) Il faut un principe pour fixer le point où le comblement peut cesser : nous le donnerons dans nos additions.

faire retirer les troupes peu-à-peu, et sans bruit, hors la portée des éclats que la mine pourra faire aux têtes les plus avancées de la tranchée, ce qui ne se peut faire qu'à-peu-près; car quelquefois elle éclate au loin, et quelquefois elle ne fait que renverser.

Les troupes étant retirées, il faudra aussi faire retirer les sentinelles, et ne laisser que quatre ou cinq fusiliers bien dispos et hardis pour escorter le mineur dans sa retraite. Cela fait et disposé, lui envoyer ordre d'y mettre le feu, et de se retirer.

Sitôt que la mine a fait son effet, les officiers d'artillerie de toute espece, regagnent leurs batteries et raccommodent promptement ce qu'il peut y avoir de gâté. Tous les gens commandés retournent à leurs postes; et la premiere chose qu'on y fait, est de parcourir toute la tête de la tranchée, et le passage du fossé avec les travailleurs commandés, et de rétablir ce que l'effet de la mine y a gâté. Pendant ce travail on fait reconnoître la breche, et les batteries se tiennent en état de battre, suivant les ordres qu'ils en ont eu pour achever d'applanir la breche, empêcher les ennemis de s'y présenter, et les inquiéter dans leurs retranchemens. Les gens commandés pour faire feu, bordent les logemens, et après avoir rangé les sacs-à-terre, ils passent les armes entre deux, et se mettent en état de faire feu sur tout ce qui paroît sur le rempart.

Toutes ces mesures étant bien prises, et sagement exécutées, il sera bien difficile que l'ennemi puisse se présenter en grosse troupe au soutient de ces breches, et encore plus, qu'il puisse y tenir, non plus que dans ses retranchemens.

Pour cela, il ne faut pas se presser, ni rien entreprendre étourdiment; mais se conduire suivant la dis-

position où l'on verra les choses, et toujours par les voies les plus sûres ; car deux ou trois heures de plus ou de moins, n'avancent ni ne reculent guere les affaires d'un siege, et elles coûtent quelquefois bien du monde, quand elles sont mal employées, et lorsqu'on se presse trop.

Les choses étant dans cet état, il y aura deux partis à prendre; celui de se loger de plein saut sur le haut des breches, poussant de vive force tout ce qui s'y présentera, ou de s'y prendre comme il a été proposé pour les breches faites par le canon.

Si l'entreprise paroît trop difficile, et hazardeuse, il vaudra mieux r'attacher encore une fois le mineur, et recommencer à canonner, pour donner toute l'étendue et la facilité convenable aux breches. Ce parti est préférable à tous les autres, et l'ennemi ne le soutient presque jamais, et cependant on gagne toujours terrain.

Voilà la théorie des mines suffisamment expliquée dans cette *premiere partie*, à l'aide des dessins contenus dans les quatre (1) premieres planches de ce volume. Nous passerons présentement à la *seconde partie* qui en renferme toute la pratique, avec des applications de nos principes à des ouvrages de mines exécutés.

Nota. Dans ce second chapitre, l'on trouve beaucoup d'expériences de démolitions faites par le moyen des mines : quoique cette matiere paroisse étrangere à celle de ce traité, elle n'en est pas moins utile, à cause des opérations importantes de ce genre qu'on a souvent besoin d'exécuter pour la démolition des

---

(1) Vauban en avoit fait sept ; nous avons agrandi les planches pour rapprocher les objets et en diminuer le nombre.

places fortes ou des ouvrages que l'on veut abandonner. Il eût été à désirer que Vauban eût déduit quelques principes de ses épreuves ; mais il paroît que de son tems la matiere étoit encore trop neuve. Un capitaine des Mineurs a laissé sur l'art des démolitions, un ouvrage qu'il seroit peut-être très utile de publier, et que j'ai vu en manuscrit au dépôt des fortifications : je n'ai pu le juger, n'ayant fait que le parcourir. (*Foissac.*)

TRAITÉ PRATIQUE DES MINES,

OU

Recueil des principaux Ouvrages de Mines qui ont été faits.

SECONDE PARTIE.

INSTRUMENS PROPRES POUR LES MINES.

POUR celles des places revêtues, il faut une masse propre à rompre les paremens et enfoncer les coins, de six pouces de longueur, et de trois à quatre pouces de grosseur, avec un manche de deux pieds six pouces de longueur, et d'un pousse six lignes de grosseur; pesant ensemble environ dix livres (1).

Des coins de six pouces de longueur, sur deux pouces au plus d'épaisseur, et trois pouces et demi de largeur, du poids d'environ trois ou quatre livres. Il est nécessaire d'en avoir de plus petits pour s'en servir quelquefois.

(1) J'ai supprimé les figures très mal faites de ces outils, beaucoup mieux exprimés sur la planche II relative à la premiere partie.

Des aiguilles rondes, d'un pouce de grosseur et de douze à quinze pouces de longueur, du poids d'environ deux ou trois livres.

Une masse à main, de quatre pouces de longueur sur deux de grosseur, du poids de trois à quatre livres, pour frapper sur les ciseaux et aiguilles, ayant un manche d'un pied de longueur.

Des ciseaux ronds, excepté la pointe qui doit être plate, d'un pied de longueur sur un pouce de grosseur, du poids d'environ deux livres et demie.

Des pics à roc d'un pied de longueur, deux pouces et demi de grosseur par la tête, du poids d'environ six livres, avec un manche de deux pieds de longueur sur un pouce et demi de grosseur.

Une moyenne pince, de deux pieds de longueur sur un pouce de grosseur, du poids d'environ huit livres.

Une autre grande pince, de trois pieds et demi de longueur, et d'un pouce et demi de grosseur, du poids d'environ quinze livres.

Une pioche, ou hoyau, d'un pied de longueur, demi pouce d'épaisseur et trois pouces et demi de largeur, du poids d'environ quatre livres, avec un manche de deux pieds de longueur.

Une beche ou louchet à douille, d'un pied de longueur sur huit pouces de largeur, un peu moins par en bas, et de trois à quatre lignes d'épaisseur, du poids de quatre à cinq livres, avec un manche de douze à quinze pouces de longueur.

Une drague, ou autrement une pelle courbée, d'une longueur et épaisseur semblables à la beche ou louchet ci-dessus, emmanchée de trois pieds de longueur.

Un pic à deux pointes, d'un pied et demi de longueur et de deux pouces de grosseur vers la tête, pesant environ six livres, avec un manche de quinze pouces de lon-

gueur: cet instrument est peu propre dans les mines où *l'on* travaille à couvert.

Il est à remarquer, qu'il est absolument nécessaire *que toutes* ces sortes d'outils soient bien acérés et trempés *en eau fraîche*.

Maniere d'attacher le mineur.

Quand on veut attacher le mineur, qui doit être toujours seul à travailler de front, on fait provision de cinq ou six madriers de dix ou douze pieds de longueur, sur douze à quinze pouces de largeur, et trois à quatre pouces d'épaisseur; les plus longs étant les meilleurs, afin que lesdits madriers aient le plus de pied qu'il se pourra, pour faciliter le travail qu'on fait au-dessous. Si l'on *ne trouve* pas qu'ils soient assez épais, on les double en observant de mettre le plus épais dessous, afin de pouvoir les ôter plus facilement si l'ennemi venoit à y mettre le feu. C'est par la crainte de cet accident, que très souvent on se sert de madriers beaucoup plus légers que ci-dessus, en les couvrant de fer-blanc; ensuite on s'épaule contre le flanc opposé, par le moyen de quantité de sacs-à-terre, donnant à l'épaulement douze ou quinze pieds d'épaisseur et même plus, s'il se peut. Il sera outre cela renforcé par les débris que l'on tire de la mine même: bien entendu que tout ceci se fait quand il n'y a point de berme. PL. II, *fig.* 1.

Mais s'il y a une berme au pied du bastion, il est à remarquer qu'on se trouve tout épaulé dès qu'on a tranché cette berme, et qu'il n'y a qu'à poser dessus à plat des madriers.

La galerie étant poussée à travers le mur jusqu'au terre-plain, il faut d'abord commencer à étayer, aussi bien du côté du mur que des terres, avec des bouts de madriers de plate-forme de deux à trois pouces d'épais-

seur, coupés à proportion de la hauteur et largeur du rameau, les espaçant plus ou moins, selon que les terres se trouvent plus ou moins mouvantes ; car dans un terrain sablonneux, il faut les mettre attenant l'un l'autre ; mais dans un terrain ferme, on laisse du vuide entre deux, en observant toujours soigneusement de conserver le vuide où l'on veut poser quelque rameau, afin de s'épargner la peine de remuer mal-à-propos les étançons, et éviter les éboulemens des terres.

Pour les Augets et Saucissons.

Les galeries et rameaux étant faits et étayés, on commence à poser les augets, faits de petites planches d'un pouce d'épaisseur. La couverture et le fond auront trois pouces et demi, et les côtés un pouce et demi de vuide, qui est la grosseur du saucisson, lequel n'est autre chose qu'un boyau de toile rempli de poudre.

Il est à remarquer, que les saucissons sont quelquefois plus gros les uns que les autres, et qu'aux plus gros le feu est plus prompt : c'est pourquoi, en partageant les feux, il faut observer de mettre les plus gros saucissons aux fourneaux les plus éloignés ; parce qu'ils ont plus de tems à prendre de l'humidité, ce qui les ralentit.

Il faut aussi faire attention, qu'il est d'une nécessité absolue de clouer les augets sur les semelles ou entretoises des étaies, pour empêcher qu'ils ne varient : et quand il n'y a point d'étaies, on les enterre à fleur du terre-plain.

Lorsque l'on se rencontre dans une contre-mine, on peut se passer d'augets ; ce que cependant tout le monde n'approuve pas, non plus que de se passer de saucisson, pour se servir simplement d'une traînée de poudre d'un pouce de grosseur, et même moins. Les partisans de cette méthode ne sauroient pourtant l'employer dans

les rameaux, où il faut des augets de toute nécessité, ainsi que lorsqu'on a plusieurs feux à distribuer par une seule embouchure.

Logement des poudres dans les Fourneaux.

On fait ordinairement une coffre de la grandeur du fourneau, lequel coffre doit être de planches ou feuillets non assemblés ; faute de planches on se sert de sacs-à-terre, et même de foin ou de paille dans un besoin, pour préserver la poudre de l'humidité. Si l'on rencontroit un terrain fort humide, ou quelque source, comme il arrive assez souvent, il faut couvrir le coffre de toile cirée, en goudronnant toutes les jointures. Il faut observer que la toile cirée doit être prise plus grande que le coffre, afin de bien couvrir les joints en la croisant. Pour faciliter le passage et l'égout des eaux, on place un auget *a* sous le coffre, par où elle s'écoule, et un second auget *b* plus haut, pour porter le feu dans ledit coffre, lequel étant rempli de poudre, suivant le besoin, le reste de la chambre se remplit de contrebandes de bois, ou bien de terre, la pierre étant dangereuse à cause du feu. Il ne faut pas oublier de fermer de forts madriers ou de poutres, l'entrée dudit fourneau. PL. V, *fig.* 1.

Maniere d'arc bouter et de remplir solidement.

Le rameau A doit ensuite être rempli pareillement de terre, ou de pierres avec du fumier, le tout serré et bien pressé jusqu'à la jonction du grand rameau B, qui sera fermé sur toute son ouverture C, d'une porte faite de gros madriers, de trois à quatre pouces d'épaisseur. Cette fermeture s'enfoncera par l'un des bouts dans la terre de six ou sept pouces, et l'on fera déborder l'autre dans le grand rameau d'un pied et demi, et même davantage. On appliquera debout contre ces madriers

quatre lambourdes, larges de quatre ou cinq pouces, et épaisses de deux ou trois; après quoi on appuiera et contrebandera lesdites lambourdes par six ou neuf arc-boutans à double et triple étage, en posant le premier à trois ou quatre pouces de terre, le second à un pied, et ainsi des autres, à proportion du vuide, lequel sera rempli, comme le rameau A, de pierres, de terre et de fumier, jusques vers la moitié de la capitale (1), ou plus, si le tems le permet; sinon on fera une retraite de bons madriers bien contrebandés. Pl. V, *fig.* 2.

Compassement des feux à égale distance.

Il faut observer de bien égaliser et proportionner les saucissons: par exemple, quand on a quatre feux à distribuer dans des fourneaux d'égale distance, on en prend toutes les longueurs, qu'on partage en quatre parties égales; et le point A, où les feux se rencontrent, s'appele le feu général, et B le foyer. Pl. V, *fig.* 3.

(1) Pour que la poudre dont le fourneau de la mine est chargé, ne fasse pas son effort dans le rameau ou la galerie, ce qui en rendroit l'effet inutile, il faut que cette galerie lui oppose plus de résistance que les terres ou la maçonnerie qui doit être enlevée. Pour cela il faut que ce rameau soit bouché, ou rempli d'une longueur plus grande que la hauteur des terres qui sont au-dessus du fourneau. Il est asez difficile de déterminer exactement la galerie qui doit être remplie, eu égard au fardeau qu'elle doit enlever; parce qu'elle doit être relative à la pesanteur et à la ténacité des terres; cependant plusieurs auteurs prétendent (comme le remarque *le Blond* dans son traité d'artillerie, duquel cette note est tirée), que dans les terrains ordinaires il faut boucher le rameau ou la galerie d'environ cinq ou six pieds de plus que la hauteur des terres au-dessus du fourneau; et que dans la maçonnerie il faut la boucher d'un tiers ou d'une moitié de plus que cette hauteur; ensorte que si elle a dix-huit pieds, le rameau doit être rempli de vingt quatre ou vingt-sept pieds au moins. Il faut observer que cet espace doit toujours être compté en ligne droite du fourneau à l'endroit de la galerie où il se termine.

Compassement des Feux à distance inégale.

Lorsque les fourneaux sont irrégulièrement distans, ou par nombre impair, il faut prendre avec un cordon les deux plus grandes distances, et les partager par moitié, et l'endroit où ladite moitié tombe dans le rameau, doit être le point du feu général A, où il faut faire venir les autres feux des fourneaux moins éloignés; ce qui ne se peut faire en droite ligne, puisqu'il faut que le feu de la plus petite distance ait autant de chemin à faire pour y arriver que les autres; car autrement ils ne feroient pas leur effet dans le même tems. Il faudra donc gagner, en serpentant le long du plus court rameau, le surplus de la distance des autres, en rémarquant de ne point faire les coudes trop serrés et aigus, parce que cela ralentiroit le cours du feu, et l'empêcheroit d'opérer aussi promptement que celui qui est en ligne droite. C'est une des choses auxquelles le jugement de celui qui dirige la mine, doit subvenir en raccourcissant le saucisson qui serpente, un peu plus que les autres qui vont en droite ligne. On en peut faire auparavant l'expérience sur le terrain, où l'on trouvera que chaque coudée peut retarder le feu de quatre ou six pouces plus que s'il étoit en ligne droite. PL. V, *fig.* 4.

Maniere d'attacher les saucissons ensemble, pour empêcher qu'ils se coupent.

Comme le feu, en courant dans les saucissons, ne manque point de les agiter, il faut à toutes les jonctions où ils doivent se rencontrer, les coudre en les posant dans les augets, ou les attacher avec des clous; faute de quoi le feu ne manqueroit point de se discontinuer. On doit aussi observer d'enterrer de cinq ou six pouces

les augets, ou bien les charger de pierres, afin qu'ils ne puissent point remuer: mais cette précaution n'est pas nécessaire quand on les cloue sur la semelle. Pl. V, *fig.* 5.

Maniere de mettre le feu à la Mine.

Il faut laisser déborder l'extrémité de l'auget de six pouces, que l'on ne découvre cependant que lorsque l'on veut mettre le feu à la mine. Il est bon que cela soit à deux, trois ou quatre pieds de l'entrée de la galerie en dedans, afin que la pluie, ou ce qu'on peut jeter du bastion, n'empêche pas le feu d'y prendre. Quand on y veut donner feu, on fait une trainée de poudre depuis l'extrémité de l'auget qui renferme le saucisson, vers l'embouchure de la galerie, parce que le feu agit plus vivement quand il a plus d'air : ensuite on prend une feuille de papier, aux quatre coins de laquelle on met des pierres ou quelque autre chose de pesant, et on la pose de façon que le milieu couvre l'extrémité de la trainée, sans que cela étouffe cependant la poudre. Au milieu on fait un trou, pour passer le bouloi : le plus épais est le meilleur, et il faut qu'il soit au moins de la grosseur d'une plume, et de la longueur de deux pouces ou davantage, selon le tems qu'il faut pour se retirer. On doit prend garde que ledit bouloi pose bien au milieu de la poudre, qu'on écrase un peu, pour la réduire en pulvérin; car si ledit bouloi touchoit à terre sans qu'il y eût de la poudre dessous et autour, il ne feroit point d'effet, puisqu'il ne met le feu à la poudre que lorsqu'il est presqu'entièrement consommé. Le papier sert à empêcher que quelque étincelle ne communique trop tôt le feu à la mine; et les pierres qu'on met sur ledit papier, l'arrêtent, pour qu'il ne change point de situation par le vent ou autrement.

Maniere de surmonter les difficultés des Contre-Mines.

Comme il est très difficile de se loger sous les contre-mines du corps d'une place, ce qui cependant est toujours le meilleur, il faut payer d'adresse autant que de vive force. Lorsque le mineur ennemi vous attend de pied ferme, il faut prendre une lance à feu, garnie de plusieurs petits canons de pistolets, ou une trompe à feu et masse d'armes, qui tirent par intervalles réglés, ou bien se servir de grenades ou de petites bombes, que l'on fait avancer par le moyen d'un petit chariot, brouette ou autre machine, suivant l'intelligence de celui qui dirige le tout, pour chasser le mineur ennemi. Mais s'il s'est retranché dans la contre mine, il faut s'avancer contre lui à la faveur d'un petit mantelet roulant, et tâcher de l'en chasser de vive force avec des demi-pertuisanes, pistolets et bayonnettes; après quoi on s'y loge.

Il y a encore un autre maniere de chasser l'ennemi de sa contre-mine, pourvu qu'elle soit en plein terrain. C'est par le moyen de boîtes, fusées et autres artifices que l'on y jette, après avoir percé la séparation avec un terrier fait exprès pour cet usage: par cette méthode on ne manque pas de chasser les ennemis ou de les étouffer.

Maniere de travailler sourdement sous terre.

Il faut avoir pour cela un outil en forme de terrier, d'un pied et demi de longueur pour le fer, et de trois ou quatre pouces de grosseur; diminuant d'un pouce vers l'extrémité, pour le faire entrer plus facilement dans la terre. On fait avec cet outil plusieurs trous près

l'un de l'autre, et l'on coupe ensuite ce qui reste entre deux avec un grand couteau fait exprès.

Maniere de donner de l'air aux Mines.

On se sert pour cet effet de plusieurs inventions. On peut y introduire de l'air par le moyen d'un gros soufflet de forge, que l'on met à l'embouchure de la capitale et auquel on attache des boyaux de cuir de trois pouces de diametre, qui vont se rendre à l'endroit où travaille le mineur; ou par le moyen d'un sac, en forme d'entonnoir, de deux pieds de diametre au plus large, et de six pouces au plus étroit, avec des cercles de bois de pied en pied, pour tenir la toile tendue, laquelle doit être forte et serrée: la toile crue empoisée est la meilleure, puisqu'elle perd moins l'air. Pl. V, *fig.* 6.

On emploie aussi une sonde continuée pour percer de la galerie de la mine au-dessus; bien entendu que ce soit en plein terrain. Ces sondes qui sont poussées par un ouvrier, ont ordinairement deux pieds de longueur, et en les emboîtant à mesure que l'on avance, on peut percer jusqu'à 30 ou 40 pieds d'épaisseur. Il faut observer de ne jamais tourner à contre-sens, puisque cela feroit demeurer lesdites sondes dans la terre, sans pouvoir les retirer. Pl. V, *fig.* 7.

Mais lorsqu'on veut avoir plus d'air, et qu'on a le loisir de travailler, on fait des contre-galeries A et B, depuis l'entrée de la capitale, ou à quelque distance de l'embouchure de la grande galerie, jusqu'au rameau à droite et à gauche où l'on a besoin d'air; mais lorsqu'on veut prolonger la capitale en ligne droite, il faut observer de ne faire qu'une desdites contre-galeries B. Au reste, les plus étroites sont les meilleures, de même que celles qui approchent le plus du niveau. Pl. V, *fig* 8.

Maniere

Maniere de chambrer dans un mur non terrassé.

Si le mur a 10 ou 12 pieds d'épaisseur, il faut faire, à six pieds de l'ouverture de la grande galerie, deux fourneaux, aux extrémités d'un rameau transversal de 14 pieds. On peut même y en ajouter deux autres sous l'à-plomb du revers du mur, en observant de faire les rameaux les plus étroits qu'il est possible. Pl. V, *fig.* 9.

Mais lorsque le mur n'a que six pieds d'épaisseur, ou moins, de sorte qu'il ne permet pas au mineur de s'y loger, il faut, si rien ne l'empêche, comme eau, ou roc, faire un puits et un double fourneau sous la fondation; observant toujours de chambrer bien perpendiculairement sous le mur.

Maniere de se loger et faire breche dans un mur terrassé.

C'est à proportion du grand talus que l'on est obligé à s'enfoncer plus ou moins, parce que l'effet de la mine est d'ordinaire plus considérable vers le dedans que vers le dehors, la poudre faisant le plus grand effort du côté le plus foible, ou qui prête moins de résistance.

Prenons pour exemple le mur A, de 15 pieds d'épaisseur en fondation, Pl. V, *fig.* 10. Si l'on y veut faire une breche de 45 à 50 pieds, où quinze à dix-huit hommes puissent monter de front, il faut le percer jusqu'au parement intérieur par une galerie capitale B, de deux pieds et demi de largeur, et trois et demi de hauteur, et ensuite se couler à droite C et à gauche D le long dudit parement intérieur, savoir 12 pieds de chaque côté.

Après cela seront formés à angles droits les rameaux

F et G. Les branches &. &. qui entrent dans le mur, seront poussées 7 pieds vers le parement extérieur, et auront deux pieds de largeur, sur deux et demi de hauteur: la largeur du rameau H qui forme le double fourneau, sera prise vers le corps de la place, sur ladite longueur de sept pieds, afin qu'il ne reste que cinq pieds vers le terre-plain I, et huit vers le parement extérieur K. Il est à remarquer, que les talus sont toujours plus grands aux ouvrages non revêtus. La tête dudit double fourneau H sera poussée à gauche de six pieds, en y comprenant le fourneau, lequel aura vingt pouces de largeur en quarré, et deux pieds de hauteur: l'autre branche L du côté de la grande galerie, aura huit pieds afin qu'il ne reste point de dame (1) ou de profil au milieu de la breche qu'on se propose de faire. Ensuite seront formées les chambres ou fourneaux M de deux pieds en tout sens, ou suivant la charge de poudre que l'on y veut loger, laquelle doit être proportionnée à la pésanteur et qualité de ce qu'on veut faire sauter. Trois, quatre ou cinq cents livres suffisent quelquefois: mais il faut observer qu'on ajoute ordinairement 100 livres par toise de hauteur; comme aussi qu'on doit mettre plus de poudre dans les fourneaux d'un gros mur, que dans les autres qui ne sont que dans la terre (2). On doit aussi creuser les fourneaux M de 8 ou 9 pouces plus bas que le niveau du rameau N. Lorsqu'on craint qu'il ne reste un profil de terre au milieu de la breche, on peut pousser un fourneau en forme de hache O sous cet endroit, à moins qu'on ne trouve plus à propos de prolonger les rameaux N de deux ou trois pieds, vers ce

---

(1) On appelle *dame* un pillier de terre qui reste quelquefois entre les fourneaux après qu'ils ont joué.

(2) Tout cela est trop vague, et ne fixe pas les idées.

côté-là, comme les branches L au dedans du mur; ainsi qu'il a été remarqué ci-dessus.

Lorsqu'on voudra faire une breche plus considérable, il n'y a qu'à continuer à droite et à gauche la même maniere de doubles fourneaux, tant dans le mur que dans le terre-plain, en faisant toujours régner la capitale CD le long du parement intérieur.

Lorsque derriere ledit revêtement on trouvera des contre-forts P, il faudra les percer tout comme les terres. Pl. V, *fig.* 6.

Maniere de mettre le feu aux fourneaux par l'embouchure d'un puits.

Comme il seroit dangereux de le faire en descendant au fond du puits, puisque les fourneaux pourroient prendre feu avant que le mineur fut remonté, on se sert d'un saucisson, cousu sur une corde le long de la couture dudit saucisson, afin que la poudre étant trop pressée, ne soit point étouffée. Le saucisson ainsi attaché à la corde, sera conduit depuis les fourneaux jusqu'à l'embouchure du puits, où l'on y mettra le feu par le moyen du bouloi, de la maniere accoutumée (1).

Maniere de faire sauter une tour d'un grand diametre.

Après avoir poussé les capitales A un peu au-delà de la moitié de l'épaisseur du mur, il faut faire les rameaux à doubles fourneaux en parties de cercles, c'est-à-dire, en observant de garder toujours la même distance du centre de la tour. Il faut en même tems pousser des four-

---

(1) Cette méthode revient à celle des fougasses. Voyez les détails de nos additions tirées du traité de la guerre des retranchemens.

neaux B dans les angles qui joignent la tour avec la courtine; parce que c'est ce qui soutient le plus ladite tour, et qui immanquablement l'empêcheroit de sauter entièrement, ainsi que cela s'est vu à Limbourg, à la démolition de la tour de la courtine ou de la prison. On doit, autant qu'il est possible, attacher toujours le mineur en dedans de la tour, tant pour la commodité des feux, qui sont plus faciles à égaliser, que parce que l'effort en est plus considérable. De plus, il faut presque doubler la charge (1), si l'on veut que la poudre fasse effet; car si l'on ne force pas, les fourneaux soufflent et s'éventent. Pl. V, *fig.* 11 (2).

Maniere de faire sauter une tour d'un médiocre diametre, comme de douze à quinze pieds dans œuvre.

Quand une tour n'a que 12 à 15 pieds de diametre dans œuvre, il ne s'agit que de creuser au milieu un puits aussi profond que l'on pourra, c'est-à-dire pour le moins aussi bas que la fondation, de figure quarrée, pour pouvoir mieux arc-bouter et coffrer le fourneau par un revêtement de madriers. Ce puits aura deux pieds et demi en quarré, et à proportion de la masse qui doit sauter. La mine étant chargée, on couvre le puits et tout le fond intérieur de la tour, de madriers ou autre bois, comme soliveaux ou poutrelles, en les joignant et serrant autant qu'il est possible. Sur ce lit de bois on en pose encore un autre en travers, également bien serré, et sur le tout deux grosses poutres en croix, en-

(1) Comment doubler une charge inconnue ?

(2) La plupart des figures circulaires relatives aux épreuves qui vont suivre, sont mal proportionnées, et souvent le texte, les cottes et l'échelle ne sont point d'accord.

taillées moitié par moitié. C'est là-dessus qu'on posera les arc-boutans ou pieds-droits, avec entaille dans le mur, aussi bien que dans les poutres; observant seulement de laisser le passage libre au saucisson (1).

Maniere de faire sauter une tour par moitié.

Il faut séparer par sape A, ce que vous voulez qui demeure sur pied B, d'avec ce qui doit sauter C. L'épaisseur de la tour étant ainsi percée de part en part, on poussera à chaque sape un fourneau D, ou deux si l'on veut, suivant l'épaisseur qu'on a, lesquels on ne chargera que médiocrement, pour que l'effort n'endommage pas trop la partie B qui doit rester. Ensuite on fera d'autres fourneaux E, dont la charge doit être plus forte, afin qu'ils secondent mieux les fourneaux des sapes D. Mais il est absolument nécessaire de bien égaliser les feux, afin que les fourneaux sautent tous à la fois. PL. V, *fig.* 12.

Il faut remarquer, que la meilleure maniere de démolir une tour, c'est par le moyen d'un puits, depuis le moindre diametre, comme de 4, 5, ou 6 pieds, jusqu'à 18 ou 20, car s'il passe cette mesure, les arc-boutans seroient trop foibles. Deux cents livres de poudre suffisent pour faire sauter une tour de 6 à 9 pieds d'épaisseur, et 300 livres pour celles de 10 à 13 pieds.

(1) Cet exposé m'a paru intelligible sans figure, et ne l'étoit pas avec une figure faite sans intelligence, qui devoit l'éclaircir, et que j'ai cru devoir supprimer. Elle avoit un grand rapport avec la figure 22 de cette planche; à cette différence près que le fourneau de celle-ci est au-dessus du sol.

EXPÉRIENCES.

La Tour *A*, Pl. V, qui pouvoit avoir 36 pieds de hauteur, a été enlevée par deux cents livres de poudre, logées dans quatre chambres, ou deux doubles fourneaux.

La Tour *B*, a été renversée par le moyen d'un puits, chargé de trois cents livres de poudre.

La Tour *C*, a été ruinée par un puits chargé de trois cents livres de poudre, ayant 25 à 30 pieds de hauteur.

La Tour *D*, a été démolie au niveau de l'eau, avec sept cents livres de poudre, logées en quatre chambres ou deux doubles fourneaux. Elle avoit quarante pieds de hauteur.

La Tour *E*, ayant quarante pieds de hauteur, a été renversée par cinq cents livres de poudre, logées en cinq fourneaux.

La Tour *F*, de quarante pieds de hauteur, a été ruinée avec mille livres de poudre, en six logemens ou fourneaux.

La Tour *G*, qui avoit trente six pieds de hauteur, a été renversée avec 400 livres de poudre, en quatre logemens ou fourneaux.

La Tour *H*, a été enlevée par le moyen d'un puits chargé de 250 livres de poudre: elle avoit 40 pieds de hauteur. La demi-tour fut abbatue avec 150 livres, logées en deux fourneaux.

Démolition d'une tour à cinq lieues d'Amsterdam, par le moyen d'un puits emprunté.

La Tour *I* étoit entourée d'eau, de cinq ou six pieds d'épaisseur, et de quinze pieds de diametre dans œuvre. Mais comme elle étoit toute percée de creneaux et sou-

piraux, cela empêcha de pouvoir faire aucun fourneau dans son épaisseur ; d'un autre côté, l'eau ne permettoit pas de creuser un puits dans le terre-plain, et de faire des fourneaux sous la fondation : ensorte qu'on fut obligé de se servir de gros bois de quatre ou cinq pouces, pour faire un logement en maniere de coffre *a*, *fig.* 21, de vingt pouces en quarré, et de deux pieds de hauteur, pour y mettre deux cents livres de poudre. Ce logement étoit arc-bouté de côté et à-plomb par de grandes pieces de bois traversantes, *fig.* 22, ce qui produisit un très bon effet, en jetant bas toute la tour, et environ dix pieds à droite et à gauche des côtés ou courtines.

La Tour *L*, étoit remplie de terre, et fut renversée par cents livres de poudre en deux fourneaux : elle étoit déja fort ébranlée par la ruine de la courtine.

La Tour *M*, Pl. VI, ayant 45 pieds de hauteur, a été ruinée par le moyen de 250 livres de poudre logées dans un puits.

La Tour *N*, qui avoit 20 pieds de hauteur, étant déja à demi ruinée, on ne mit d'abord que 50 liv. de poudre en deux logemens *a*, *a*, pour la faire tomber; ce qui ne fit qu'un trou : ensuite on remit encore 100 livres de poudre dans un autre logement *b*, *b*, qui acheverent de la ruiner.

La Tour *O*, avoit quarante pieds de hauteur, et fut abbatue par 800 livres de poudre, en quatre logemens ou fourneaux.

La Tour *P*, de 36 pieds de hauteur, a été ruinée avec 750 livres de poudre, par le moyen de quatre fourneaux.

La Tour *Q*, qui pouvoit avoir vingt pieds de hauteur, fut ruinée par deux fourneaux, où l'on mis cent cinquante livres de poudre.

La tour *R*, de 18 pieds de hauteur, étant pleine de terre, fut ruinée par 150 livres de poudre, quoique, selon les regles (1), il eut fallut 300 livres de poudre de plus.

Le pâté *S*, ayant 40 pieds de hauteur, a été ruiné par les six fourneaux *n*, chargés de douze cents livres de poudre; et le reste *o*, *p*, de huit pieds de hauteur, par les quatre fourneaux *q*, chargés de quatre cents livres de poudre.

Démolition du magasin de Crevecœur

L'effet se fit par la fondation, ce qui fut cause que le puits souffla par les côtés marqués & & *fig.* 9. Inconvénient qui arrive assez ordinairement aux tours voûtées, à cause de l'épaisseur ou de l'énorme pesanteur desdites voûtes. Le puits avoit cinq pieds de profondeur, et deux pieds et demi en quarré : on y avoit logé 500 livres de poudre, *fig.* 8.

Démolition d'un château à deux lieues d'Utrecht.

Les murs *a fig.* 10, avoient douze pieds d'épaisseur, et celui de refend *b*, étoit de dix pieds. On fit quatre doubles fourneaux *c* aux quatre angles, et cinq autres fourneaux *d* dans le mur de refend; ces derniers s'étendoient en partie dans le gros mur. Chaque fourneau fut chargé de 200 livres de poudre. Tous ces fourneaux furent faits en quatre jours par deux mineurs, aidés de quelques soldats. L'effet fut considérable.

---

(1) Où sont ces regles?

Démolition du château de Navaigne, à deux lieues de Maestricht.

Ledit château *z fig.* 11, étoit environné d'eau, ce qui empêcha de faire les fourneaux sous la fondation, et le peu d'épaisseur qu'avoit le mur, qui n'étoit que de trois pieds seulement, ne permit pas non plus de faire des fourneaux considérables, mais seulement des trous dans les embrasures ou creneaux, comme il est marqué au côté *a a a*. Ces cavités furent chargées chacune de vingt livres de poudre, et firent par leur grand nombre, y en ayant cent vingt ou environ, un très bon effet. Le feu y fut mis à trois différens endroits par feux compassés. Quant au corps de la place, il fut ruiné sans mine, n'étant point revêtu.

Démolition du château de Franchimont, à trois lieues de Limbourg.

Les deux tours A, B, *fig.* 12, étoient épaisses environ de vingt-cinq pieds ; ce qui fit qu'on ne put pas se servir d'un simple puits au milieu. On fit donc trois doubles fourneaux par dehors, un au milieu de la courtine (1), mettant quatre cents livres de poudre dans chaque fourneau des tours *a*, et cinq cents dans ceux de la courtine *b*. L'effet répondit à l'attente.

Attachement du mineur à la citadelle de Tournay, assiégée par l'armée française, à un bastion du côté de la Meuse.

Le trou fut commencé par le canon, et poussé environ jusqu'à cinq ou six pieds de profondeur, dont on

(1) Je vois sur la figure sept doubles fourneaux, y compris celui du milieu de la courtine.

fit soigneusement ôter les débris par des gens commandés pour cela. Mais comme le mur étoit contre-miné au niveau du fond du fossé, à douze pieds du parement, et qu'ainsi il restoit six ou sept pieds entre le fond dudit trou et ladite contre-mine, cet espace fut enfoncé par le moyen d'un coffre de fer rempli de poudre, autrement dit un petard, qui y fut introduit: et pour détruire entièrement l'épaisseur de cette contre-mine, on y introduisit une bombe par le moyen d'un petit chariot.

Défense du bastion Dauphin à Maestricht.

Les ennemis, après avoir fait breche avec le canon dans la face gauche du bastion dauphin, s'en rendirent maîtres sans grande résistance, et y demeurerent trois heures; mais la crainte qu'on ne les fit sauter, les engagea à abandonner cet ouvrage, laissant sept mineurs et huit soldats dans la contre-mine, qui furent faits prisonniers par nos gens, qui rentrerent d'abord en possession de ce bastion. Les ennemis, après en être sortis, y donnerent un assaut, et l'emporterent le lendemain; mais on fit sauter les fourneaux marqués *a*, *fig.* 13, qui renverserent presque tout l'ouvrage: nos gens y rentrerent une seconde fois, mais ils l'abandonnerent peu après comme étant hors de défense.

Cinq jours après, les assiégés revinrent faire sauter tout le revêtement de la gorge, où les ennemis s'étoient épaulés. Ce fut en mettant le feu aux fourneaux *b*, auxquels on communiquoit par la capitale *c*, qui venoit du chemin-couvert de la place, et dont les ennemis avoient négligé de couper la communication.

d. Etoit un puits par lequel les ennemis voulurent attacher le mineur, mais on le leur tua par le moyen d'une bombe, et de quelques sacs de poudre et fagots goudronnés.

e. Une autre puits superficiel, pour descendre dans les galeries.

f. Le puits ou soupirail des contre-mines, voûté par dessus.

g. Une galerie pour communiquer de la capitale *c*, aux fourneaux *b*.

On mit trois cents livres de poudre dans les fourneaux *a*, et deux cents dans ceux qui sont marqués *b*.

Démolition du bastion de Chamilly à Maestricht.

L'élevation n'étant que d'environ vingt-quatre pieds, obligea à s'étendre dans les deux faces, ainsi qu'il est représenté dans le dessin, Pl. VII, *fig* 1 (1). On chargea les premiers fourneaux marqués *a*, vers le dehors, de deux cents livres de poudre; ceux qui sont marqués *b*, de cent cinquante, et les fourneaux *c*, de deux cents cinquante livres, par conséquent médiocrement, vû le grand nombre de fourneaux et le peu d'élevation: ainsi 4200 livres de poudre suffirent pour chaque face, et 8400 livres pour le bastion: tous les fourneaux de l'une et de l'autre face furent faits dans l'espace de douze jours par deux mineurs, et environ douze soldats pour les aider. L'effet en fut si considérable qu'il renversa entièrement tout le bastion.

Comme les fourneaux mentionnés n'étoient que dans les faces, on poussa dans les flancs, vers l'épaule, deux autres logemens *d*, de cinq fourneaux chacun, qui jouerent en même tems. Le feu général fut mis au pied de l'angle flanqué *e* (2).

---

(1) Cette figure a été réduite à moitié, suivant la capitale du bastion, la moitié qui reste étant semblable à celle qu'on a supprimée.

(2) Sur la figure, cet angle est nommé D.

Epreuve faite dans la Crete de Samel, à la portée du mousquet de Douay, dans un terrain d'argile, sans être étançonné ; où il fut consommé la quantité de 3800 *livres de poudre.*

Il y avoit au-dessus de ces fourneaux vingt-quatre pieds de terre, Pl. VI, *fig.* 14 : ceux de derrière, marqués *b*, étoient chargés de 300 livres de poudre, et ceux de devant, marqués *a*, de 250 livres, à cause du talus. L'effet en fut grand, et renversa parfaitement bien les terres, Tout cet ouvrage fut fait en quatre jours, pendant lesquels six mineurs et douze soldats y travaillerent sans relâche.

Autre épreuve faite au même endroit ; où il a été consommé, sans y comprendre les saucissons, la quantité de 1920 *livres de poudre.*

Il y avoit au-dessus de ces fourneaux 16 pieds de terre, Pl. VII, *fig.* 2 : ceux de derriere, marqués *b*, étoient chargés de 200 livres de poudre, et ceux de devant, marqués *a*, seulement de 180 livres, à cause du talus. L'effet fut considérable.

Autre épreuve faite au même endroit ; où il a été consommé la quantité de 1080 *livres de poudre.*

Il y avoit au-dessus de ces fourneaux douze pieds de terre, Pl. VII, *fig.* 2 : ceux de derriere, marqués *a*, étoient chargés de 150 livres de poudre ; mais ceux de devant l'étoient de moins, à cause du talus. Dans les fourneaux *b*, on avoit mis 80 livres, et seulement 60 dans les fourneaux *c* ; mais l'effet n'en fut pas bon,

parce qu'on y avoit trop épargné la poudre. Cette mine auroit sans doute mieux réussi, si on avoit mis dans les fourneaux *a*, 200 livres de poudre, et 150 livres dans les autres *b* et *c*.

Ces trois épreuves de fourneaux sauterent dans un même jour l'une après l'autre devant Louvois.

Autre épreuve devant du Metz; où il a été consommé la quantité de 7750 livres de poudre.

Il y avoit vingt quatre pieds de hauteur de terrain au-dessus de ces fourneaux, *fig.* 4: ceux de derriere *a*, étoient chargés de 300 livres de poudre, et ceux de devant *b*, de 250 livres. L'effet fut beau et grand, quoique la poudre ne fut pas trop bonne. Le tout fut fait en trois semaines par quinze mineurs seulement.

Autre épreuve devant le même; où il a été consommé la quantité de 4200 livres de poudre.

Le terrain au-dessus des poudres avoit assez généralement vingt-quatre pieds de hauteur, excepté sur le devant, où il n'en avoit que 18, *fig.* 5. Les fourneaux *a* étoient chargés de 300 livres de poudre, parce qu'en cet endroit le terrain étoit le plus épais; ceux du milieu *b*, de 250 livres, et les fourneaux *c*, près du talus, de 200 livres. L'effet fut fort considérable, et le tout construit en trois semaines de tems par quinze mineurs seulement.

Autre épreuve devant Courtanvaux; où il a été consommé la quantité de 4200 livres de poudre.

Ces fourneaux étoient chargés de vingt-quatre pieds de terre, *fig.* 6, et les chambres de derriere *a*, étoient

remplies de 350 livres de poudre ; celles du milieu *b*, de 300 livres, et celles du devant *c*, de 150 livres. L'effet en fut grand, parce que la charge étoit un peu forcée. Le tout fut fait en six jours par douze mineurs, sans aucune aide.

Autre épreuve devant le Commandeur de Souvré; où il a été consommé la quantité de 3300 livres de poudre.

Il y avoit vingt-deux pieds de hauteur de terrain sur ces fourneaux, *fig.* 7 : ceux de derriere *a*, étoient chargés de 300 livres de poudre, et ceux de devant *b*, de 250 livres. L'effet fut grand, mais un peu moindre que celui de la mine précédente; et le tout fut fait en six jours par douze mineurs.

Attachement du mineur dans la Contregarde du bastion de Barlemont à Luxembourg.

Après que le revêtement *A*, *fig.* 8, de 12 pieds d'épaisseur, eut été percé, tant par le canon qu'autrement, on trouva une contre-mine *B*, de 10 pieds de largeur et autant de hauteur, toute percée d'embrasures murées et de creneaux, que les ennemis ne disputerent en aucune maniere, faute de précautions : ils jetterent seulement des feux d'artifice par un endroit de la voûte *C*, qui étoit crevée, ce qui produisit une très grande puanteur et fumée, dont les mineurs qui y travaillerent, furent ensuite malades. Lesdits mineurs commencerent à pousser des fourneaux doubles dans le gros mur extérieur *A*, ainsi que dans l'intérieur *D*, qui avoit quatre pieds d'épaisseur, et qui fut percé de part en part, lesdits fourneaux étant construits dans le terre-plain.

Les fourneaux du gros mur *A*, furent chargés de

400 livres de poudre chacun, et les autres de derriere le mur *D*, de 300 livres.

La deuxieme ouverture *E*, fut faite pour faciliter le travail, et pour servir de retraite, en cas qu'on eût pu être chassé de ladite contre-mine.

Les fourneaux *F*, sauterent les premiers, et firent un bon effet : ensuite l'on mit le feu aux autres en même tems, lesquels renverserent tout le revêtement, excepté l'endroit marqué *G*, qui demeura sur pied, parce que le fourneau *H* (1), ne prit pas, faute d'auget pour y conduire le feu.

Le terre-plain de ladite contregarde, étoit aussi contreminé, comme il se voit à l'endroit marqué *I*; mais cela ne servit de rien de part ni d'autre : la galerie avoit trois pieds de large et quatre pieds de hauteur. Il a été consommé dans tous ces fourneaux la quantité de 13000 livres de poudre, et ils furent construits en huit jours et demi par dix mineurs et vingt-cinq soldats pour les aider.

La communication *L*, dans cette contre-mine, étoit par-dessous la dame attachée à l'angle flanqué du bastion. Il y avoit dans la contre-mine des murs ou traverses de dix en dix pieds, qui en partageoient les vuides.

Démolition du pont de Huy.

Le pont étoit de pierre dure, et avoit six piles de 30 pieds de longueur au plus, et 22 pieds de largeur.

On y fit en quinze jours et deux nuits, trois fourneaux dans chaque pile, avec douze mineurs et beaucoup d'autres ouvriers qui les aidoient. Les capitales

---

(1) La lettre H ne se trouve pas sur la figure. Nous présumons que ce fourneau est au point que nous avons marqué *h*.

desdits fourneaux furent poussées 15 pieds, et les retours 4 pieds ; ensorte qu'il y resta huit pieds entre les deux fourneaux, et entre les deux du milieu seulement quatre ; les fourneaux *B*, n'étant que des haches. Les fourneaux *A*, étoient chargés de 400 livres de poudre chacun, et dans les haches *B*, on en mit 500 livres.

L'ouverture des galeries se fit à cinq pieds au-dessus de l'eau, par le moyen de grands bateaux.

Les feux furent partagés en trois pour chaque pile, par le moyen de cordes bien tendues, et d'auget cramponés le long des piles, et le feu général mis à la fois pour deux piles, lesquelles sauterent ensemble, et ruinerent trois arches ; et ainsi de suite. Mais comme les débris avoient fait enfler les eaux, il fallut mettre le feu par un trou de la voûte marqué *a* ; et si heureusement les rameaux n'avoient pas été assez au-dessus des eaux, ils en auroient été remplis, la riviere venant à s'enfler comme elle fit. Tous les fourneaux sauterent dans un même jour.

Dessin de fourneaux pour faire sauter en même tems la fausse-braye, le bastion et un cavalier, *fig.* 10.

Dessin de fourneaux pour faire breche tout à la fois dans la fausse-braye et au bastion.

Ce dessin, *fig.* 11, de fourneaux, est proportionné pour faire sauter la face d'un bastion, dont la muraille aura quinze pieds d'épaisseur par le fondement, et faire un breche de 135 à 140 pieds de large, pour y passer 45 ou 50 hommes de front, et en même tems dans la fausse-braye une breche de 75 à 80 pieds de large, pour passer 30 à 35 hommes de front.

Pour charger lesdits fourneaux, il faut mettre 400 liv. de poudre dans ceux du revêtement du bastion, et 300 livres dans ceux du terre-plain ; ensorte qu'il faudroit

4000

200 livres de poudre dans ceux du revêtement du bastion, et 300 livres dans ceux du terre-plain; ensorte qu'il faudroit 4000 livres de poudre pour les premiers, et 3000 livres pour les autres suivans, faisant ensemble 7000 livres. Quant à ceux de la fausse-braye, il faut qu'ils soient chargés chacun de 500 livres, faisant pour les six fourneaux 3000 livres, et généralement pour le tout 10000 livres. Il est à remarquer, que lorqu'on voudra faire une breche considérable dans quelque face de bastion ou autre pan de muraille, il faut bien considérer et examiner son épaisseur, de même que la hauteur, ainsi que celle des terres qui se trouveront au-dessus des fourneaux; se ressouvenant pour maxime générale, que les breches que l'on fera, tant dans la bonne maçonnerie, que dans la médiocre et la mauvaise, même dans les terres, se trouveront, à peu de chose près, le double en largeur de ce qu'il y aura de terre ou de maçonnerie au-dessus des fourneaux. Comme, par exemple, si l'on veut faire sauter la face d'un bastion supposé de 40 pieds de hauteur, la breche se fera de 80 pieds de largeur; et ainsi des autres à proportion (1).

Epreuves qui ont été faites concernant les Mines.

Un fourneau dans le sable fort, ayant douze pieds au-dessus de sa chambre, a été chargé de 200 livres de poudre, et a enlevé 14 toises cubes de terre, chaque toise pesant 26136 livres, à raison de 121 livres le pied cube; le total du poids faisant 365904 livres: par consé-

(1) C'est-à-dire, que les fourneaux seront disposés pour produire cet effet; car Vauban n'a pas voulu dire que l'on ne pouvoit pas faire sauter toute la face d'un bastion, en multipliant les fourneaux sur toute sa longueur.

quent il a falu pour chaque toise 14 livres 4 onces & demie de poudre, par la raison que ledit fourneau a crevé une galerie qui étoit à 12 pieds de côté, et au niveau de la poudre.

Autre Epreuve.

Un fourneau chargé de 150 livres de poudre, ayant en tout les mêmes dimensions que le précédent, a enlevé la même quantité de terre, et produit un effet tout semblable, avec dix à onze livres une once et demie de poudre (1) pour chaque toise.

Autre Epreuve.

Un autre fourneau, ayant 10 pieds de terre au-dessus de sa chambre, a enlevé 5 toises 132 pieds cubes de terre, le pied cube pesant 160 livres : il étoit chargé de 120 livres de poudre ; ce qui revient à 21 livres et 6 onces de poudre par toise cube. Le dessus du terrain étoit plat dans son grand diametre.

Autre Epreuve.

Un autre fourneau, ayant 12 pieds de terre au-dessus de son logement, a été rempli de 213 livres de poudre : il a enlevé 9 toises 102 pieds cubes de terre ; ce qui revient à 22 livres 2 onces par toise cube. Le terrain étoit plat dans son grand diametre.

Autres épreuves faites en présence de Louis XIV.

Il a sauté devant Louis XIV à Maintenon, dix fourneaux à la fois ; les quatre plus grands, ayant 28 pieds de terre au-dessus des poudres, ont été remplis chacun

(1) Qu'est-ce que dix à onze livres une once et demie de poudre ? Il faut lire : avec dix livres onze onces et demie de poudre.

de 1728 livres de poudre. Chaque fourneau embrassoit 119 toises de terre, le terrain allant en pente; ce qui revient à 14 livres et demie de poudre par toise cube.

Un autre fourneau de la même qualité, étant à la profondeur de 10 pieds, a été rempli de 120 livres de poudre: son effet contenoit 5 toises 132 pieds cubes; ce qui revient à 21 livres 6 onces par chaque toise.

Dans un autre, ayant 12 pieds de terre au-dessus, on a logé 213 livres de poudre: ce fourneau embrassoit 9 toises 102 pieds cubes; ce qui revenoit à 22 livres et 2 onces de poudre par toise.

Maniere de calculer l'excavation d'une Mine.

Il est à remarquer, que chaque fourneau fait son effet, et remue les terres en forme de (1) cône renversé, dont le diametre est le double de la perpendiculaire, prise du centre de la poudre jusqu'à l'horizon

(1) *Voy.* la note, page 29 et *suiv.* partie I de ce Traité. On y observe 1°. que l'excavation d'une mine est une espece de cône tronqué renversé, dont le diametre de la grande base est double de *la ligne de moindre résistance*, ou ce qui est la même chose, de la ligne qui exprime la plus petite hauteur des terres au-dessus du fourneau; 2°. que le diametre de la petite base, ou de celle qu'on imagine passer par le centre du fourneau, est égal à cette même hauteur de terre au-dessus du fourneau. Ces deux remarques servent de fondement au calcul des mines; c'est-à-dire pour trouver la quantité de poudre dont elles doivent être chargées, eu égard à celle de terre qu'elles doivent enlever. On avoit d'abord cru, comme on le dit ici, et comme *Vauban* le dit dans le premier volume, que l'excavation de la mine produisoit un cône renversé; mais des expériences plus exactes ont fait voir la fausseté de cette supposition. Il est constant aujourd'hui que c'est un cône tronqué, ou *un paraboloïde*, solide qui en differe très peu. *Voyez* la note ci-dessus citée, pour la rectification du calcul qui est ici enseigné.

où à la surface de la terre. Ainsi, dans un fourneau qui aura 20 pieds de terre au-dessus de son logement, et dont la chambre sera grande de 2 pieds en tout sens, il y aura 1 pied du dessus du fourueau au centre de la poudre ; ce qui fait 21 pieds du centre de la poudre jusqu'à l'horizon ; ainsi le diametre du cône aura 42 pieds à la surface.

Par exemple, soit A B C D, Pl. VII, *fig.* 12, le fourneau ; E F la perpendiculaire, ou hauteur des terres au-dessus du fourneau : E G la distance du dessus du fourneau centre de la poudre ; K L le diametre du cône, et I H l'horizon ou la surface de la terre.

Pour avoir le contenu de l'excavation, il faut mettre en regle de trois, 7 donne 22, que donnera le diametre qui est dans cette figure 42 ? Vient 132, pour la circonférence : il faut prendre la moitié de ce produit, qui est 66, et la multiplier par le demi-diametre, qui est ici 21 : vient pour la superficie 1386 pieds. Ceci doit être multiplié par le tiers de la hauteur, qui est 7, vient pour le contenu solide de l'excavation 9702 pieds cubes ; laquelle somme étant divisée par 216, qui est la quantité de pieds cubes qu'il y a dans une toise, le produit sera 44 toises, et 198 pieds cubes pour le contenu de l'excavation d'une mine, profonde de 20 pieds au-dessus des poudres.

Pour avoir la quantité de poudre nécesssaire ; si c'est une *terre commune*, il faut multiplier le nombre des toises par 14, et le produit donnera la quantité désirée ; si c'est du *sable fort*, on le multipliera par 17 ; une *terre mêlée* par 18, et ainsi pour toute autre qualité de terre.

Mais comme il n'arrive presque jamais qu'il se trouve un nombre de toises si juste qu'il ne reste quelques pieds, il sera plus à propos, pour avoir la quantité de la poudre, de faire le calcul par les pieds. Mettez donc en

regle de trois, 216 pour 18 livres, combien pour 9702? Le produit sera 808 ½ livres, qui est la quantité de poudre qu'il faut pour charger une mine dans une *terre mêlée*, ayant 20 pieds de terre au-dessus de son logement.

Réglement *de la charge qui se doit mettre dans chaque fourneau, suivant la qualité et quantité des terres qui se trouvent au-dessus; conformément à ce qui a été expérimenté et observé par quantité d'épreuves qui se sont faites devant Louis XIV pendant plusieurs années consécutives.*

Suivant les bonnes supputations, un fourneau qui aura au-dessus de sa chambre 12 pieds de *sable fort*, sera chargé de 161 livres de poudre; ce qui revient à 17 livres par toise cube.

De même, un fourneau qui se trouvera chargé de 27 pieds de même terrain que dessus, sera rempli de 1820 livres de poudre; ce qui revient, comme ci-dessus, à 17 livres de poudre par toise cube.

Un fourneau ayant 15 pieds de *terre mêlée* au-dessus de sa chambre, demande d'être chargé de 326 livres de poudre; ce qui revient à 18 livres par toise cube.

La différence du *sable fort* à la *terre mêlée*, est de 1512 livres par toise cube, que la *terre mêlée* pese davantage; et l'*argile mêlée de tuf* pese par toise 1296 livres plus que la *terre mêlée* : c'est la raison qui oblige à mettre différente quantité de poudre, à proportion de leur pesanteur. Chaque livre de poudre enleve 1601 livres de *sable fort*.

Pour regle très sûre et immanquable, la *terre commune* demande 14 livres de poudre par toise cube.

Pour le *sable fort* il en faut 17 livres par toise cube.

Et la *terre mêlée* en demande 18 livres par toise.

Pour l'*argile mêlée de tuf* 19 livres par toise cube.

Et pour la *terre grasse fort mêlée de cailloux*, il faut 22 livres par toise cube.

Le *sable humide* qu'il faut étayer, demande 15 liv. par toise.

Le *roc*, à proportion de sa dureté, demande le double de la poudre qu'il faut pour la terre commune.

Le *sable* qu'il faut étayer, pese le pied cube 13 liv.; et la toise cube 28080 livres.

La toise de *terre commune* pese 21816 livres, à raison de 101 livres le pied cube.

La toise *du sable fort* pese 27216 livres, ce qui vient à 126 livres le pied cube.

La toise de *terre mêlée*, pese 28728 livres, revenant à 133 livres le pied cube.

La toise d'*argile et tuf* pese 30024 livres, ce qui revient à 139 livres pour le pied cube.

La *terre grasse fort mêlée de cailloux* pese 34560 liv. qui est 160 livres le pied cube.

Le milieu proportionnel de toutes les toises de différentes terres est de 28404 livres, et demande 18 livres de poudre par toise cube, qui est la charge la plus commune.

TABLE *très juste, pour voir tout d'un coup combien un fourneau doit enlever de toises cubes de terre, depuis deux pieds jusqu'à soixante pieds au-dessus des poudres; et la quantité de poudre qu'il faut, selon les différentes profondeurs et la différente qualité des terres.*

hauteur des terres au-dessus des poudres	toises cubes.	pieds cubes.	*terre commune.*		*sable fort.*		*terre mêlée.*		*argile et tuf.*		*terre forte mêlée de cailloux.*	
			poudre liv.	onces.	poudre liv.	onces.	poudre liv.	onces.	poudre liv.	onces.	poudre liv.	onces.
2pi.	0	$8\frac{2}{3}$	0	$9\frac{1}{2}$	0	$12\frac{1}{2}$	0	12	0	$12\frac{1}{2}$	0	14
3	0	$28\frac{1}{2}$	1	$13\frac{1}{2}$	2	$3\frac{2}{3}$	2	$5\frac{1}{2}$	2	8	2	$12\frac{3}{4}$
4	0	68	4	$6\frac{1}{2}$	5	$5\frac{1}{2}$	5	$12\frac{1}{4}$	6	0	6	10
5	0	$133\frac{1}{3}$	8	10	10	$7\frac{1}{2}$	11	$1\frac{1}{2}$	11	$11\frac{1}{2}$	12	$14\frac{2}{3}$
6	1	12	14	$12\frac{1}{2}$	17	14	18	$15\frac{1}{2}$	20	0	23	2
7	1	$143\frac{1}{3}$	22	$2\frac{1}{2}$	26	4	26	$5\frac{1}{2}$	27	7	31	10
8	2	$104\frac{1}{3}$	34	$6\frac{1}{2}$	42	3	44	5	46	$6\frac{1}{2}$	52	9
9	3	207	55	9	67	8	71	10	75	13	88	0
10	5	132	78	9	96	2	100	10	106	4	121	14
11	7	$82\frac{2}{3}$	104	12	125	11	132	12	139	13	165	0
12	9	102	132	10	161	2	170	12	180	4	208	14
13	11	205	167	8	203	9	205	10	227	12	253	15
14	14	$199\frac{2}{3}$	209	2	253	11	267	9	281	8	327	9

hauteur des terres au-dessus des poudres	toises cubes.	toises cubes.	*terre commune.* poudre liv.	onces.	*sable fort.* poudre liv.	onces.	*terre mêlée.* poudre liv.	onces.	*argile et tuf.* poudre liv.	onces.	*terre forte mêlée de cailloux.* poudre liv.	onces.
15	18	36	254	4	308	8	326	11	344	13	399	0
16	23	$137\frac{2}{3}$	330	14	401	8	424	9	447	11	519	3
17	28	54	395	8	480	4	508	8	536	12	621	8
18	33	$31\frac{3}{4}$	464	0	563	7	596	10	629	13	729	1
19	38	192	546	7	661	2	700	0	739	12	854	6
20	44	198	628	13	763	9	808	8	852	15	993	4
21	51	197	723	8	882	8	934	12	985	14	1138	8
22	59	44	827	13	1007	4	1066	8	1125	12	1303	8
23	67	120	946	0	1148	8	1216	4	1283	8	1486	6
24	76	42	1607	4	1295	12	1372	0	1448	4	1681	4
25	87	$131\frac{1}{3}$	1226	8	1489	4	1587	3	1664	12	1929	8
26	96	[illegible]5	1347	4	1635	12	1732	0	1828	4	2116	14
27	107	16	1499	2	1820	4	1927	5	2034	6	2355	12
28	124	$41\frac{1}{3}$	1738	12	2111	8	2235	12	2360	0	2732	12
29	137	$17\frac{5}{6}$	1[illegible]28	8	2342	0	2479	12	2617	8	3030	8
30	151	$128\frac{1}{3}$	2122	8	2672	0	2828	10	2980	4	3334	0
31	167	2[illegible]	2339	12	2841	4	3008	6	3175	8	3676	8
32	183	125	2570	0	3120	8	3304	2	3487	12	4038	0
33	200	28[illegible]	2801	8	3402	2	3602	4	3802	6	4402	8
34	218	$174\frac{1}{3}$	3162	8	3718	12	3937	8	4156	4	4812	8
35	137	48	3321	4	4033	2	4270	6	4507	10	5219	4
36	258	$53\frac{1}{4}$	3615	8	4394	8	4652	12	4911	0	5682	8
37	281	$95\frac{5}{6}$	39[illegible]0	9	4785	8	5067	0	5348	8	6192	0

haut. des terres au-dess. des pou.	toises cubes.	pieds cubes.	terre commune. poudre liv.	onces.	sable fort. poudre liv.	onces.	terre mêlée. poudre liv.	onces.	argile et tuf. poudre liv.	onces.	terre forte mêlée de cailloux. poudre liv.	onces.
38	309	$189\frac{1}{3}$	4337	6	5262	10	5572	2	5881	10	6810	8
39	334	139	4685	0	5680	8	6015	4	6350	0	7364	8
40	360	150	5049	5	6133	5	6494	0	6854	10	7934	11
41	388	13	5433	0	6597	0	6985	0	7373	0	8537	2
42	415	$51\frac{1}{3}$	5813	6	7059	4	7474	8	7889	12	9135	6
43	445	75	6234	10	7570	10	8016	0	8461	6	9791	6
44	475	26	6651	10	8077	2	8552	4	9027	6	10452	12
45	507	$201\frac{1}{3}$	7111	10	8635	8	9143	7	9651	6	11175	0
46	540	96	7565	8	9186	9	9726	15	10367	4	11887	5
47	576	$28\frac{1}{2}$	8065	10	9794	2	10370	4	10946	6	12718.	12
48	613	72	8586	8	10426	10	11040	0	11653	5	13493	5
49	654	118	9163	8	11127	0	11781	8	12436	0	14399	8
50	708	124	9920	0	12045	8	12754	0	13462	8	15588	0
51	763	$13\frac{1}{2}$	10683	0	12772	0	13535	2	14298	4	16787	8
52	810	$141\frac{1}{2}$	11347	0	13778	8	14589	0	15399	8	17831	0
53	861	$156\frac{1}{3}$	12064	8	14649	0	15510	12	16472	8	18958	8
54	912	171	12778	8	15516	8	16428	12	17241	8	20080	8
55	992	$58\frac{1}{2}$	13472	8	16259	5	17221	11	18184	0	21171	5
56	1012	$112\frac{1}{2}$	14275	0	17212	8	18225	0	19237	8	22275	1
57	1062	$166\frac{1}{2}$	14878	8	18066	0	18128	8	20191	4	23380	8
58	1112	$137\frac{1}{4}$	15576	0	18913	8	20029	0	21138	8	24476	0
59	1162	$199\frac{1}{3}$	16279	0	19762	0	20929	12	22092	8	25580	0
60	1212	162	16978	0	20616	12	21829	8	23042	4	26690	8

Remarque sur la Table ci-dessus.

J'ai proportionné dans cette table des poudres, par toise cube, la *terre commune* à 14 livres de poudre ; le *sable fort* à 17 livres, à raison que la toise cube de *sable fort* pese 5400 livres plus que la *terre commune* ; et la *terre mêlée* à 18 livres par toise cube, chaque toise pesant 1512 livres davantage que le *sable fort* ; et à 19 livres pour chaque toise d'*argile mêlée de tuf*, chaque toise pesant 1296 livres plus que la *terre mêlée* ; et enfin la *terre grasse fort mêlée de cailloux* à 22 livres, chaque toise pesant 4536 livres davantage que l'*argile mêlée de tuf*.

Et comme le *sable humide* qu'il faut étayer ne se peut pas bien régler par le poids, parce que c'est un corps poreux, je le proportionne à 15 livres par toise cube.

Usage de la Table précédente.

Cette table est divisée en sept colonnes : la *premiere* colonne marque la hauteur des terres au-dessus des chambres, ou fourneaux, depuis deux pieds jusqu'à soixante pieds : la *seconde* montre combien de toises et pieds cubes de terre doit faire sauter un fourneau, à proportion des terres qui sont au-dessus : la *troisieme* colonne fait voir combien de poudre il faut pour charger une mine dans une *terre commune*, selon les differentes profondeurs : la *quatrieme* montre la quantité de poudre qu'il faudra dans un terrain de *sable fort* : la *cinquieme* combien de poudre dans une *terre mêlée* : la *sixieme*, combien il en faudroit si c'étoit un terrain d'*argile et tuf* : la *septieme*, la poudre nécessaire dans une *terre*

grasse fort mêlée de cailloux : toutes à proportion des terres, qui sont au-dessus des poudres.

PAR EXMPLE. Si vous avez un fourneau qui ait au-dessus de soi dix-huit pieds de terre, il faut chercher dans la *premiere colonne* de la table le nombre 18. Dans la *seconde colonne* vis-à-vis, on trouvera 33 toises et 31 pieds cubes et ¾ d'un pied, qui est la quantité de terre qu'il doit enlever. Dans la *troisieme* on trouvera 464 qui est la quantité de livres de poudre qu'il faut pour charger le susdit fourneau, s'il est fait dans une *terre commune*. Dans la *quatrieme colonne* on trouvera 563 livres et 7 onces, qui est la poudre nécessaire pour un pareil fourneau en terrain de *sable fort*. Dans la *cinquieme colonne* on trouvera 596 livres et 10 onces, qui est pour une *terre mêlée*. Dans la *sixieme* on trouvera 629 livres 13 onces, qui est la poudre qu'il faudra si c'est un terrain d'*argile et tuf*. Enfin dans la *septieme et derniere colonne* on trouvera 729 et 1 once de poudre, qui est pour un *terrain gras, et fort mêlé de cailloux* ; le fourneau toujours supposé profond de 18 pieds au-dessus des poudres : et ainsi de toutes les autres différentes hauteurs.

Fin du traité des Mines.

SUPPLÉMENT A LA THÉORIE DES MINES, DE VAUBAN.

INTRODUCTION.

Plusieurs auteurs depuis Vauban, ont traité de la théorie des Mines, avec différens succès : Valiere, Cormontagne, Delorme (1), Belidor, Le Blond, Prud'homme, Dulacq, St. Rémi, Le Fevre, Etienne, ont plus ou moins perfectionné ou développé cette science ; et peu de chose sans doute resteroit à dire, si les lumieres répandues dans leurs divers ouvrages, étoient réunies pour en former une théorie complette et didactique, élaguée de certaines idées purement spéculatives, qui tiennent plus aux combinaisons faciles du cabinet, qu'à l'expérience de la guerre. Je m'occupe de ce travail, et c'est en attendant qne je le puisse donner au public, que j'ajoute ici quelques notions détachées, pour donner plus d'étendue au présent Traité, et remplir mieux, sous ce rapport, l'objet de celui de l'Attaque et de la Défense des places. Aux matieres puisées dans les auteurs dont je parle, je joindrai quelques idées qui me sont person-

(1) Les traités de ces deux derniers ne sont encore que manuscrits.

nelles, et que je soumets au jugement des hommes du métier; peut-être mettront-elles sur la voie des moyens de se rapprocher de l'équilibre entre la Défense et l'Attaque des villes de guerre; équilibre rompu depuis l'usage d'une nombreuse et puissante artillerie, et qui semble ne pouvoir être rétabli que par la guerre souterraine. Un service certain que rendra ce travail, sera celui de donner une méthode pour évaluer, dans une place, les approvisionnemens nécessaires aux contre-mines, moins en raison du nombre de ses bastions, qu'en proportion des contre-mines existantes ou qui entrent dans le plan de sa défense; puis d'enseigner le meilleur emploi des moyens, soit en mineurs ou en poudre, avec lesquels l'assiégeant surprend une place alors qu'elle n'a pu se pourvoir de tous les objets qui lui sont nécessaires. C'est à Cormontagne à qui ces calculs utiles sont dûs. Ce laborieux et savant ingénieur étoit convaincu que l'on travaille souvent sans fruit quand on calcule sur l'abondance des moyens d'exécution en tout genre, et que celui-là rend ses efforts plus utiles, qui s'attache à profiter sagement de l'état des choses prises dans le désordre qu'on remarque en général dans la plupart des dispositions, sur-tout dans celles qui dépendent du rare concours de différentes volontés dirigées par l'esprit de prévoyance et l'amour bien décidé de l'intérêt commun. A ce secours j'ajoute celui d'une Table calculée avec exactitude pour la charge des mines, que j'ai augmentée de deux colonnes, dont l'une marque les charges des mines dans la maçonnerie, et l'autre la grandeur des boîtes à poudre proportionnées à la quantité qu'elles doivent contenir en les supposant cubiques, et en évaluant le poids d'un pied cube de cette matiere, sur le pied de 64 liv. et non de 80 livres comme on l'avoit gratuitement établi.

De l'effet de la poudre et de l'excavation des Mines.

L'on a vu que si Vauban étoit dans l'erreur sur la théorie des effets de la poudre, en supposant que le rayon de son activité s'étendoit dans la proportion du resserrement de l'espace dans lequel elle conserve la liberté d'agir, ensorte que ce rayon doubloit de longueur quand la sphere d'activité diminuoit de moitié : il est au moins certain que cet homme celebre nous a donné la connoissance de la forme des entonnoirs d'une maniere exacte (1), que les expériences de ses contradicteurs mêmes, ou de ceux qui attribuent faussement cette découverte à Valiere, n'ont point contredite, quoiqu'il paroisse démontré d'ailleurs qu'il n'est point vrai dans toutes les hypotheses, qu'il existe un rapport constant entre le diametre supérieur, le diametre inférieur et la ligne de moindre résistance d'une mine. Nous verrons qu'il résulte au contraire des effets que Vauban ne pouvoit ignorer, qu'il n'a prétendu généraliser cette proposition que sous le rapport des charges que l'expérience lui a indiquées comme proportionnées à la production de cet effet, auquel sans doute il s'est attaché de préférence à cause de sa simplicité pour les calculs, et du petit nombre de principes faciles auquel on pouvoit ainsi réduire la théorie de l'excavation des entonnoirs des mines.

1. Tous les auteurs qui ont traité de l'effet de la poudre, s'accordent à penser, d'après les matieres qui la composent, et la maniere dont elle agit sur les obstacles qui s'opposent à son effet, 1°. qu'elle agit toujours du

(1) Il dit en effet qu'elle est un cône tronqué : il ne differe des vraies dimensions qu'à l'égard du diametre inférieur de l'entonnoir.

centre à la circonférence, suivant les rayons d'une sphere; 2°. que, toutes choses égales d'ailleurs, *lorsque la même quantité de poudre, que l'on suppose d'abord libre d'agir dans tous les sens, est ensuite réduite à n'agir que dans une angle quelconque de la sphere, elle s'étend dans le sens du rayon suivant lequel elle agit alors, dans la proportion de la racine cubique du nombre qui exprime le rapport de cet angle aux* 360 °*de la sphere, c'est-à-dire, que son nouveau rayon sera exprimé par* $\sqrt[3]{2}$ si l'angle qui lui reste est de $180° = \frac{360°}{2}$; ou par $\sqrt[3]{3}$ si cet angle est de $120° = \frac{360}{3}$, et conséquemment seulement par $\sqrt[3]{8} = 2$, si l'angle dont il s'agit est de $45° = \frac{360}{8}$; et ainsi de suite.

2. Un autre principe découle du précédent, c'est que l'action de la poudre se développe suivant une sphere proportionnée à sa masse; c'est-à-dire que l'activité d'une masse double, triple ou quadruple, etc. embrasse une sphere double, triple ou quadruple, ou dont les rayons sont, de même que les précédens, respectivement exprimés par les quantités $\sqrt[3]{2}, \sqrt[3]{3}, \sqrt[3]{4}$, etc. En effet, supposons, par exemple, une sphere partagée en 8 angles sphériques égaux, et conséquemment de 45° chacun; nous avons vu que la quantité de poudre primitivement prise, et d'abord considérée comme libre d'agir suivant toute la sphere qu'elle peut embrasser, mais resserrée ensuite dans un angle de 45°, s'étendoit dans cet angle suivant un rayon exprimé par la formule $\sqrt[3]{8} = 2$, c'est-à-dire, suivant le rayon d'une sphere octuple: or rien ne nous empêche de supposer qu'une même quantité de poudre remplit semblablement par son activité chacune des sept autres parties de cette

sphere; il en résulte donc évidemment que 8 fois plus de poudre embrassera alors une sphere 8 fois plus grande, ou dont le rayon sera exprimé par $\sqrt[3]{8}=2$. Le même raisonnement pouvant s'appliquer à tout autre angle, il est évident que la conséquence en est générale, tel rapport que l'on suppose entre les quantités de poudre; donc, en général aussi, *l'activité de la poudre embrasse un espace proportionné à sa masse.*

3. Le principe que nous venons d'établir, découleroit encore naturellement de la proposition générale de l'égalité des rapports entre les causes et leurs effets; car alors on diroit : les masses de poudre, qui sont la cause de leurs dilatations respectives, étant entre elles comme 1 est à 8, les effets, qui sont les espaces occupés après ces dilatations, doivent être dans le même rapport; donc, etc.

Observons cependant que des causes physiques alterent ces résultats. Je ne parle pas ici de la différence des qualités de la poudre, du plus ou moins d'humidité, du chaud, du froid et des autres accidens de ce genre, dont je fais abstraction; mais il est une cause qui contribue très sensiblement, dans l'expérience, à la diminution de l'effet de la poudre, c'est la succession des instans de l'inflammation. Quoique la communication du feu soit très prompte, cependant, en supposant ce feu mis au centre d'une masse *d'un grand diametre*, l'on conçoit une distance entre l'instant où le premier grain du centre déploie son activité, et celui où ce feu est reçu par les grains qui forment l'enveloppe la plus extérieure de la masse; alors l'effet du centre est déja détruit, tandis que celui de la surface n'est point encore commencé; ainsi, l'action d'une masse primitivement double, étant successive et non spontanée, n'est réellement plus susceptible d'un double effet. Ce phénomene

est

est assez sensiblement expliqué en se représentant une masse sphérique de poudre, dont le rayon est divisé en un certain nombre de parties égales entre elles, et marquant les instans de l'embrasement successif qui se fait du centre de la sphere à sa surface. Si l'on conçoit alors que par chacun des points de division du rayon, passent autant de surfaces sphériques concentriques à celle de la masse de poudre, et que les zones de cette matiere, renfermées entre ces surfaces, représentent la quantité de poudre qui s'enflamme dans chaque instant respectif, il en résulte évidemment, 1o. que les progrès du feu croissent comme les cubes des parties du rayon, divisé comme nous l'avons dit; 2o. que la portion de poudre qui prend feu à chaque instant, est exprimée par la différence des cubes des deux rayons intérieur et extérieur de la zone à la quelle repond ledit instant; 3o. que pour connoître l'effet dont la poudre seroit susceptible au dernier instant, dans la supposition d'une inflammation totale, il faudroit retrancher du cube du rayon entier, le cube du rayon de la portion éteinte, lorsque le feu a gagné l'enveloppe la plus extérieure; 4o. enfin, que pour connoître la diminution de l'effet au moment de l'explosion, dans l'hypothese qu'elle précédât l'inflammation totale, ou, ce qui est la même chose, pour connoître la quantité de poudre non enflammée, il faudroit retrancher du cube du rayon de la masse totale, celui du rayon de la masse enflammée.

Je conçois des expériences faciles par lesquelles on pourroit approcher de la connoissance de ces diverses quantités, et qui serviroient utilement à fixer avec plus d'exactitude les véritables charges des mines et des armes à feu. Il en est beaucoup qui, sans fixer des rapports, prouvent journellement que les mines, comme les armes à feu, rejettent une partie de la poudre en grains, dès

que les charges passent certaines mesures relativement aux obstacles qu'elles ont à vaincre; et tout autorise à penser encore qu'une partie de la poudre, même consumée, ne reçoit l'action du feu que lorsqu'elle est libre, et n'a plus de résistance à éprouver, et par conséquent au moment où elle n'a plus d'effet utile à produire : tout cela se développera mieux par la suite.

PROBLÊME.

Connoissant la charge d'un fourneau de mine sphérique, sa ligne de moindre résistance, et le diametre de sa sphere d'activité, trouver la forme de l'excavation de cette mine, dans un terrain homogène.

SOLUTION.

4. Soit c le globe de la poudre, $c\,e$ le rayon de sa sphere d'activité, $d' g'$ la ligne du niveau du terrain, passant par l'extrémité d de la ligne $c\,d$ de moindre résistance. Du centre c du fourneau, et du rayon donné $c\,e$, décrivons la circonférence $a\,e\,b\,z\,y'\,a$, qui représentera la sphere d'activité, ou, si l'on veut, seulement un des grands cercles de cette sphere; et rendons-nous compte d'abord de ce qui se passe dans ce cercle, en le considérant pour un instant comme séparé de la sphere et répondant à une section correspondante du globe de la poudre.

Pour cet effet, tirons les rayons $c\,a$, $c\,b$, aux points où le cercle coupe l'horizon; menons de même à la circonférence, et à volonté, d'autres rayons $c\,f$, $c\,g$, etc. qui divisent la ligne du terrain aux points n', o', p'. Il est évident qu'à chaque secteur de cercle $e\,c\,f$, $f\,c\,g$, $g\,c\,b$, etc. correspondra un secteur semblable dans le cercle du fourneau, et que chacun des derniers enleveroit la terre de chacun des premiers, comme le cercle entier

du fourneau enleveroit celle du cercle entier de son activité, si ce cercle étoit considéré indépendamment de tout autre obstacle : alors la matiere qui en formoit la surface, seroit portée sur sa circonférence. Cet effet se produiroit à plus forte raison sur les triangles *d c n'* , *n' c o'* , *o' c p'* , *p' c b* , ou sur le triangle total *a c b*, puisque leurs surfaces respectives ne sont que des parties des secteurs dont nous venons de parler.

Il suit de-là que l'excavation de la mine, considérée seulement entre les deux rayons *a c*, *c b*, menés aux points où l'horizon est coupé per le cercle d'activité, prendroit la figure du triangle *a c b*, dont le sommet est au centre du fourneau.

Mais d'autres obstacles se présentent à l'effet des autres parties semblables du fourneau, et qui agissent en même tems que celle qui répond au triangle *a c b* : je vois qu'au lieu du vuide qui existe au-delà de la ligne de moindre résistance *c d*, le fourneau doit agir, dans la partie opposée à l'arc *b z*, non seulement contre le triangle *bcz* égal à *acb*, mais encore contre un rectangle ayant *b z* pour hauteur, et l'épaisseur immense du globe de la terre, que je représente par la ligne indéfinie *b g'*.

Bornons ce nouvel examen à ce qui se passe au-dessus de la ligne *o p* qui traverse le centre commun *c*, et que je tire parallèlement à l'horizon. Tirons en conséquence les rayons *c q'* , *c r'* , etc., jusqu'à ce qu'ils rencontrent la ligne *d' g'*. Supposons aussi la profondeur *b x* des terres partagée par les lignes *h i* ; *k l*, *m n*, paralleles à l'horizon, et prises d'ailleurs comme on voudra.

Cela posé, j'imagine que *c q'* est un rayon très rapproché de *c b*, et je me rends compte de la résistance que la poudre éprouve dans sa direction.

Je remarque d'abord que *c b* me représente tout l'effort dont la poudre est capable dans le sens d'un rayon

pour enlever une ligne égale de terrain ; car, par mon hypothese, cette ligne d'abord marquée par des élémens de terre, ne l'est plus, après l'action, que par le vuide qui remplace la dilatation de la poudre suivant sa direction, et ces élémens ont été transportés au-delà du point b.

Or, je dis que l'action suivant $c\,q'$, s'arrêtera sur ce rayon avant de parvenir au point u', où il coupe la perpendiculaire $b\,z$, abaissée du point extrême b. En effet, par l'hypothese, cette action ne pourroit point s'étendre plus loin que jusqu'en s', n'y eût-il au-delà de ce point que du vuide : mais comme, au lieu du vuide, il y a un massif triangulaire mixte $b\,s'\,q'$, il en résulte que les terres qu'il faudroit que le rayon enlevât depuis c jusqu'en s', ne trouvent aucune place au-delà de l'arc $b\,s'$, et qu'il faudroit conséquemment que l'action de la poudre les enlevât ; or, cet effet est impossible puisqu'au point s' la force expansive devient zéro, et que, s'il en existoit encore une portion quelconque qui pût se décomposer en action horizontale et en action verticale, cette derniere, la seule qui pourroit produire l'enlevement au-delà de $b\,s'$, passant par le point s', agiroit entre b et q', conséquemment enleveroit des terres hors du cercle d'activité, ce qui est contradictoire à notre supposition et impossible en soi. Donc, 1°. l'action suivant cq', s'arrêtera par l'obstacle qu'elle éprouve entre le centre c et l'extrémité s' du rayon ; et comme toutes les verticales passant par la portion $u'\,s'$ du rayon, passeroient de même entre b et q', il en résulte 2°. que le point que je cherche ne pourra se trouver au-delà du point u' où le rayon est coupé par la perpendiculaire $b\,x$.

Je dis de plus que ce point ne sera pas le point d'intersection u' ; car, en supposant que ce fût lui, il faudroit que la force restante à ce point, pût diriger les

terres suivant $u' b$; mais nous avons $c u' + u' b > c b$, cette action auroit donc plus d'étendue que le rayon d'activité, condition encore contradictoire à l'hypothese comme à la possibilité physique : donc 3°. et enfin, le point où s'arrêtera l'effet de la poudre dans le sens du rayon $c q'$, sera un point pris sur ce rayon, en dedans de la perpendiculaire $b x$.

Supposons que ce soit le point q, où nous avons arbitrairement fait croiser le rayon $c q'$ par la parallele à l'horizon $h i$, et abaissons la perpendiculaire $q v$. J'observe que le plan $b q i g'$ résiste en raison de sa surface, abstraction faite de toute tenacité suivant la ligne d'adhérence $q i$, et que la force arrivée en q, suivant la direction $c q$, et que je représente par cette ligne, se décompose alors en deux autres $e' q$, $v q$, l'une agissant horizontalement dans le sens de la longueur $q i$, l'autre de bas en haut dans le sens de la hauteur $b a'$, et chassant toutes les terres du triangle $c b q$, suivant le prolongement $q v'$, qui n'offre plus qu'une épaisseur susceptible d'être détruite par son action.

Je dis susceptible d'ètre détruite par cette action, et je le prouve. Pour y parvenir, je prends sur $h i$ un point x', que je suppose quatrieme proportionnelle entre les trois lignes $q v$, $e' q$, $q v'$ ensorte que l'on ait $v q : e' q :: q v' : q x'$, puis je tire par le point v' une parallele à $q x'$, et par le point x' une parallele à $q v'$; enfin, je tire la diagonale du parallélogramme rectangle $v' x'$. Il est évident que cette diagonale est dans le prolongement de la diagonale $c q$, puisque les angles $e' q v$, $x' q v'$ sont égaux, opposés au sommet, et que les côtés $q v$, $q v'$ forment une droite $v v'$: or, la diagonale $c q$ me représente l'action consommée suivant cette portion du rayon $c s'$; $e' q$ et $q v$, sont donc les composantes horizontale et verticale de cette force. Mais il y a évidemment proportion entre

les chemins parcourus dans ces différentes directions et ceux qui restent à parcourir, c'est-à-dire que l'on a cq, chemin parcouru dans le sens du rayon, est à qs', chemin qui restoit à parcourir dans le même sens pour épuiser la force au moment où elle a été arrêtée en q, comme $e'q$, qui marque l'action de cette force dans le sens horizontal, est à un quatrieme terme qx', qui sera proportionnel à celle qui restoit dans le même sens au même instant, ou comme qv, qui représente l'action de cette force dans le sens vertical, est à un quatrieme terme qv', qui sera proportionnel, par la même raison, à l'action dont la force en question étoit encore capable dans ce dernier sens. J'exprime ces idées par cette suite $cq : qs' :: e'q : qx' :: vq : qv'$; d'où je tire, $e'q : qx' :: cq : qs'$, ce qui donne $qs' = \frac{qx' \times cq}{e'q}$. Mais dans les deux rectangles $e'v$, $v'x'$, les diagonales sont aussi proportionelles aux côtés respectifs; en nommant donc d la diagonale du dernier, l'on a également les proportions $e'q : qx' :: cq : d$, ce qui donne $d = \frac{qx' \times cq}{e'q}$; comparant cette égalité à la précédente, il en résulte celle-ci: $d = qs'$. Conséquemment, la diagonale du rectangle $v'x'$, n'est autre chose que la portion qs' même du rayon, qui restoit à parcourir, et les lignes qx', qv' me marquent véritablement l'action de la poudre, suivant leurs directions: donc l'action qv' de cette poudre, détruira la résistance $v'q$, en sens contraire, des terres qui lui sont opposées, puisque, par notre hypothese, une épaisseur quelconque en terre comprise dans la sphere d'activité, est toujours détruite par une portion de l'action de la poudre, représentée par une ligne égale à cette épaisseur.

Voyons maintenant ce qui se passe sur le rayon cr'. Le point r où l'action de la poudre s'arrêtera sur ce

rayon, sera évidemment placé entre le centre du fourneau et la perpendiculaire $q\ v$, abaissée du point q, où l'effet s'est arrêté sur le rayon précédent. Car si l'on supposoit que ce point fut en z', sur cette perpendiculaire, comme il faudroit que la force, en se décomposant, détruisît l'épaisseur $z'q$ des terres au-dessus de lui, il en résulteroit une action representée par la somme des deux lignes $c\ z'$ $q\ z'$, conséquemment plus grande que celle représentée par la ligne $c\ q$; or, le point r étant plus bas que le point q, éprouve dans le sens du rayon $c\ r'$, une plus forte résistance que le point q, suivant le rayon $c\ q'$, beaucoup plus petit et plus élevé que lui; donc nécessairement on a $c\ r < c q$.

Mais quelle sera la position de ce point, par rapport aux points q, b, de l'excavation, placés au-dessus de lui ?

Nous avons déja observé que les plans $b q i g'$, $q r l i$, etc. résistoient nécessairement en raison de leur grandeur ou surface, parce que nous avons supposé que ces surfaces sont infiniment minces. Or, de même que nous pouvons décomposer les forces *agissantes* cq, cr, en actions horizontales, et en actions verticales, suivant les côtés des rectangles dont ces lignes sont les diagonales, de même aussi pouvons-nous considérer les forces *résistantes* $bqig'$, $qrli$, etc. comme résistant horizontalement en raison des longueurs moyennes entre bg', qi, rl, etc., et verticalement, en proportion de leurs hauteurs respectives ba', bb', bc', etc. Mais observons que les lignes bg', qi, rl, etc. peuvent être considérées comme égales par rapport à l'effet de la résistance des plans, à cause de leur extrême longueur, qui comprend toute l'épaisseur horizontale du globe de la terre. Il résulte de-là que les résistances que la poudre a à vaincre, peuvent être considérées comme simplement proportionnelles aux hau-

teurs $b a'$, $b b'$, $b c'$, etc. des plans situés respectivement au-dessus des points q, r, s, etc.

Il suit de ce principe, que si, pour une résistance représentée par $b a'$, le point q est resté en dedans de la ligne $b z$, d'une quantité horizontale $a' q$, pour une résistance représentée par $b b'$, le point r situé au-dessous d'elle sur le rayon inférieur $c r'$, restera en dedans de la même ligne $b z$, d'une quantité $b' r$, proportionnelle à $b a'$ et à $q a'$; c'est-à-dire, que le point r, sera placé sur le rayon $c t'$, de maniere que l'on aura $b a' : a' q :: b b' : b' r$. *Donc les points b, q, r, seront en ligne droite.*

Les mêmes raisonnemens pouvant être appliqués aux points s, et i', où l'effet de la poudre sera arrêté sur les autres rayons au-dessous des précédens, jusqu'au rayon $c i'$, parallele à l'horizon ; il est clair que l'excavation de la mine sera jusqu'ici un trapeze a & $i' b$, dont les côtés opposés $a b$, & i', formant l'ouverture de la mine au niveau du terrain et au niveau du centre du fourneau, sont paralleles ; dont les angles $b a$ &, $a b i'$, sont égaux, et qui fait conséquemment partie d'un triangle isocele $a K b$, ayant son sommet dans le prolongement de la ligne de moindre résistance.

Mais passons à l'examen de ce qui s'opere suivant les rayons horizontaux $c i'$, c & et au dessous d'eux.

L'action de la force suivant le rayon $c i'$, n'est susceptible d'aucune décomposition qui puisse donner une direction verticale, ni produire, par conséquent, le plus petit enlevement de terrain vers le côté $a b$. Son action ne sera donc que la division et la simple compression de c en i'. Dans cette action suivant les deux rayons $c i'$, c &, formant une même droite, l'effort se balancera d'un côté à l'autre avec une vitesse infinie, et s'épuisera à produire l'ouverture & i'.

Suivant la direction verticale $c K$, la force, n'étant

au contraire susceptible d'aucune décomposition horizontale, ne pourra produire que la division et la compression de *c* vers *D*. Alors il s'établira de même, par la réaction, un balancement entre la ligne de moindre résistance *c d*, et le rayon *c K*. Mais, comme dans cet effet les résistances ne sont pas égales, puisqu'il y en a beaucoup plus suivant *c K*, qui se prolonge jusqu'au centre de la terre, que suivant *c d*, qui marque le chemin le plus court vers sa surface, il en résultera que dès que la résistance la plus foible *c d*, sera vaincue, l'effort sur le point *D*, qui est proportionnel à *cd*, cessera, et que ce qu'il restera de force suivant *cK*, se dirigera, par la loi de la réaction, de *c* vers *d*, et tendra à porter d'autant plus loin hors de l'arc *a e b*, les terres enlevées par la force répresentée par *c e*.

Nous disons que *cD*, est proportionelle à *c d*, et en effet: la terre ne réagit en *D* qu'à raison du poids supérieur au centre du fourneau, ou de la longueur de *c d*; car si je suppose pour un instant, que la poudre est placée en *d*, où elle n'a rien à vaincre, certainement *c d* sera zéro. Car si, comme certains le prétendent, l'expérience prouve néanmoins dans ce cas, qu'il se fait un petit affaissement sur l'horizon en *d*, il faut l'attribuer à la résistance du poids de l'atmosphere, dont je ne fais pas non plus abstraction dans la résistance que j'exprime par *cd*, ni dans l'effet que je suppose produit par la poudre, et dont je suis conséquemment dispensé de m'occuper ici séparément, parce qu'il pese également par-tout.

Nous aurons également entre $c k'$ et *c a*, un balancement qui se prolongera en raison de la longueur de la derniere ligne et qui donnera $c k' : c a :: c D : c d$; car la poudre doit agir semblablement en dessous et en dessus du fourneau, sur les rayons formant un même diametre du globe d'activité: ainsi, comme *c a* a percé une pro-

fondeur de terre représentée par la ligne *de moindre résistance* $c\,d$, tandis qu'elle s'est écartée du centre d'une quantité $a\,d$, de même aussi $c\,k'$, doit avoir atteint à une profondeur $c\,D$ ou $k'\,l'$, qui est la ligne de *compression*, ou *de plus forte résistance*, en s'écartant du même centre d'une quantité $D\,k'$, ensorte que l'on ait $c\,D : D\,k' :: c\,d : d\,a :: c\,k' : c\,a$. Un effet semblable se produira sur tous les rayons passant entre les points D, k'; d'où il résulte que $D\,k'$ sera nécessairement une ligne droite. (1)

En portant son attention sur les rayons qui agissent entre k' et i', sur le rayon $c\,C$, par exemple, des rayons semblables donnent ces proportions, $C\,m' : m'\,c :: c\,f' : f'\,B :: c\,C : c\,B$. Enfin, en considérant qu'à mesure que le rayon $c\,C$, se rapproche davantage du rayon horizontal $c\,i'$ dans le bas de la mine, en s'éloignant proportionnellement du rayon vertical $c\,D$, son effet se rapproche aussi d'autant plus de celui du premier, et s'éloigne, dans le même rapport, de celui du second; l'on conçoit que la quantité $l'\,i'$ qui manque à l'effet horizontal opéré suivant le rayon $c\,k'$ pour égaler l'effet horizontal $c\,i'$, est à la quantité $m'\,i'$, qui manque à l'effet horizontal qui peut s'opérer suivant le rayon $c\,C$, pour égaler la même ligne $c\,i'$, comme l'effet vertical $l'\,k'$, suivant $c\,k'$, est à l'effet vertical plus petit $m'\,C$, suivant $c\,C$; c'est-à-dire que $i'\,l' : i'\,m' :: l'\,k' : m'\,C$, d'où il suit que le point C où l'effet s'arrêtera au-dessous du fourneau, sur le rayon $c\,C$, sera en ligne droite avec les points k', i', où cet effet s'est arrêté sur les rayons adjacens $c\,k'$, $c\,i'$. Et comme la même démonstration s'appliqueroit à tous les autres rayons intermédiaires, il est évident que la figure de la mine au-dessous du fourneau, sera représen-

(1) En rigueur, cette ligne aura de D en k' la même courbure que l'on peut supposer à l'horizon de d en a.

tée par le trapeze $\&O k' i'$; conséquemment que l'effet total, dans le plan où nous le considérons, sera, dans tous les cas, une figure $a \& O k' C i\ b a$ composée de deux trapezes, ayant chacun deux côtés opposés paralleles, se touchant par l'un de ces côtés, et dont les autres côtés respectifs sont également inclinés sur les premiers.

L'on voit que lorsque l'effet en dessous du fourneau est arrêté au point k', par exemple, pris sur un rayon oblique, l'effet se décompose en deux autres $k' L$, $k' M$, dont le dernier est nul pour tout enlevement de terre, et s'amortit horizontalement, tandis que le premier, réfléchi suivant $k' l'$, enleve les terres dans cette direction, et se joint à l'effet des rayons supérieurs, pour les porter au-delà de l'arc $a\ e\ b$.

Cependant l'action réelle dans ce sens, ne pourroit pas être calculée, quant à son intensité, suivant les rapports ordinaires de la décomposition des forces, parce que l'expérience prouve qu'une partie de la poudre penetre dans les terres et se trouve conséquemment nulle pour la réflexion et l'enlévement dont il s'agit.

Quoi qu'il en soit, tout ce qui précede étant bien conçu, l'on concevra de même que les effets que nous venons de développer auront également lieu dans tel sens qu'on envisage l'excavation, c'est-à-dire que l'on peut imaginer par le centre du fourneau, une infinité de plans verticaux passant par tous les points de son grand cercle horizontal, et que dans chacun de ces plans, on trouvera des rayons égaux, agissant de même contre des obstacles identiques, et produisant nécessairement la même excavation que celle que nous venons de déterminer. Donc l'excavation totale de la mine sera un solide égal à celui que produiroit la demi-figure $d\ b\ i' k' D$ autour de la verticale $d D$, formant toute sa profondeur; c'est-à-dire un solide composé de deux cônes tronqués droits, à

bases opposées paralleles, joints par le cercle qui forme la plus petite base du plus grand de ces cônes, et la plus grande base du plus petit. C. Q. F. T.

5. Si la théorie démontre, comme nous venons de le faire, quelle est la figure de l'excavation d'une mine, elle peut difficilement déterminer les rapports des différentes lignes qui la composent, et se trouve forcée d'appeler les expériences à son secours. Celles-ci ont découvert un rapport déterminé entre la charge d'une mine et le poids des terres qui lui résistent, tel qu'il donne cette proportion, $cD : ci' :: ci' : cd$; c'est-à-dire que la largeur ci, de l'ouverture de la mine au niveau du centre du fourneau, est moyenne proportionnelle géométrique entre sa profondeur cD au-dessous du même point, et la ligne de moindre résistance, ce qui donne constamment pour ce cas, $cD = \frac{ci'^2}{cd}$. A cette égalité les effets ajoutent celle-ci, $ci' = \frac{cd}{2}$, $cd = \frac{ab}{2}$; c'est-à-dire, qu'il y a égalité entre la largeur de la mine au niveau du centre du fourneau, la ligne de moindre résistance et la moitié de la largeur au niveau du terrain.

REMARQUE I.

6. Il faut ici prévenir une difficulté. Les solides résistent en raison de leurs masses, et je n'ai considéré l'effet que dans des plans pour en conclure celui des solides, ce qui pourroit paroître inexact au premier coup-d'œil. Mais faisons attention que les solides que j'ai représentés par les plans $de'ig'$, $df'lg'$, etc. et qui résistent à l'effet de la mine, sont des cylindres qui ont toutes leurs bases égales, et qui, conséquemment, sont entre eux comme ces mêmes hauteurs, que seules nous avons considérées dans nos caculs, en cherchant l'effet

des résistances. Ainsi les résultats ne peuvent en avoir été altérés.

C'est pour une raison semblable, qu'en calculant l'effort des rayons de poudre, nous avons fait abstraction de leur solidité, quoiqu'il soit vrai que ces rayons sont des petits cônes parfaitement égaux entre eux, mais qui ne different, quant à leur effet, que selon leurs différens degrés d'éloignement du centre et leur obliquité, ce qui permet, dans la comparaison de ces effets, de les déduire de ces seules causes, et de simplifier ainsi les rapports sans les altérer.

REMARQUE II.

7. L'on a vu que Vauban avoit trouvé, par des expériences qu'il donne comme bien certaines, que l'excavation d'une mine étoit un cône tronqué dont le rayon *d b* du grand cercle, est égal à la ligne *d c* de moindre résistance. Les expériences faites par Valiere, ont donné les mêmes rapports entre ces lignes : mais Valiere crut remarquer de plus que le rayon *c i* de l'ouverture de la mine au niveau du fourneau, étoit, comme nous l'avons dit, N°. 5, égal à la ligne de moindre résistance, et qu'il se faisoit au-dessous du *fourneau* une compression, et dans les côtés latéraux une courbure, caracteres qui lui firent penser que le profil de l'excavation étoit une barabole. Ce rapport d'égalité entre la ligne de moindre résistance et le rayon de l'ouverture supérieure, découvert par les deux hommes les plus célebres dans la science des ingénieurs et la théorie des mines, ne fût néanmoins pas reconnu pour constant par Belidor, qui dit avoir fait depuis d'autres épreuves qui les démentent. Nous rapporterons ailleurs ses raisonnemens et le détail des faits dont il les appuie; nous observerons seulement ici que rien dans les nôtres, n'a fixé cette loi, et que pour qu'elle eût constamment lieu, il faudroit que

le diametre de l'ouverture de la mine, prise au niveau du terrain, fût toujours fixé par deux rayons *ca*, *cb*, formant au centre du fourneau un angle droit *acb*, abstraction faite du rapport de la charge à la ligne de moindre résistance, à la pesanteur spécifique des terres et au degré de leur tenacité; et qu'en outre, pour que l'ouverture au niveau du fourneau, eût un rayon moitié de celui de l'ouverture supérieure, il faudroit toujours, sans égard aux mêmes quantités, que la résistance des terres fût constamment telle, que la base *x i'* du talus qu'elles conservent aux parois, fut moitié de leur hauteur *b x* ou, de la ligne de moindre résistance; car alors seulement on auroit $db = dc = 2cm'$.

Ce phénomene n'auroit rien qui pourroit s'expliquer naturellement; car faire abstraction des résistances en calculant un effet quelconque, c'est partir d'un principe faux; et, s'il est évidemment impossible qu'une charge déterminée de poudre placée à une profondeur qui se trouve en grande disproportion avec l'effort dont elle est capable, puisse enlever la masse énorme de terrain qui pese sur elle, de maniere à ce que l'ouverture *acb*, fut de 90°, il est probable aussi que cette même charge, rapprochée de la surface du terrain en disproportion contraire, pourra, ainsi que Belidor dit l'avoir vérifié, enlever les terres au-dessus d'elle, sous un angle plus grand que l'angle droit, et en proportion avec sa force.

REMARQUE III.

8. Ces effets ne pouvant être échappés à Vauban, il nous paroît démontré que ce grand homme s'est arrêté à dessein aux expériences qui lui donnoient les rapports dont il s'agit, afin que les résultats fussent d'un calcul plus facile. En effet, il nous dit que l'excavation d'un mine *raisonnablement chargée*, ne force jamais

langle de 90° : c'est donc établir en termes précis, que dans l'hypothese de certaines disproportions, cet effet n'a plus lieu.

Valiere arrivé après lui, a d'abord employé les charges déteminées par Vauban pour produire cet effet; elles ont prouvé ce que Vauban avoit avancé; de-là l'uniformité de leur opinion à l'égard de l'égalité de la profondeur et du rayon de l'ouverture supérieure de l'excavation d'une mine; de-là conséquemment leur idée commune de son effet sous un angle de 90°, qui n'exclut pas l'angle plus grand que Belidor a observé.

Quoi qu'il en soit, il est évident, même aux yeux de la théorie, que le diametre inférieur de la mine, doit excéder celui du fourneau; car l'effet circulaire de la poudre ne permet pas de supposer qu'elle se fait du côté de la ligne de moindre résistance, une ouverture plus grande que celle dudit fourneau par en haut, tandis qu'elle se concentre dans les seules dimensions de ce fourneau au point où elle a le plus de force, ensorte que les côtés et le dessous restent sans compression, sans division. Ce que nous en avons dit dans le problême précédent, démontre au contraire l'existence nécessaire d'un effet latéral et en dessous, operé en proportion de la résistance supérieure; mais c'est sur la foi des observations de Valiere et de Belidor, qui s'accordent sur ce point, que nous supposons que $c\,i' = \frac{d\,b}{2}$, car ce rétrécissement, qui dépend du poids et de la tenacité des matieres à enlever, ne peut être déterminé que par l'expérience. C'est ainsi qu'en fixant le point q dans notre problême, nous avons supposé que le rapport de $q\,a'$, à $b\,a'$, ou celui de $i'x$ à $b\,x$, nous étoit connu, et c'est d'après cette donnée que le reste de la figure s'est naturellement dessiné à nos yeux, avec le crayon de la géométrie et les regles de la méchanique.

REMARQUE IV.

9. Rien, dans les développemens de la figure que nous avons trouvée, ne nous a paru devoir altérer les lignes droites *a&*, *&O*, *Ok'*, *k'i'*, *i'b*, pour leur donner la courbure parabolique; et comme il ne faut point chercher d'effet où il n'y a point de cause, nous sommes autorisés à penser que les courbures que Valiere croit avoir apperçues, ne tiennent qu'à la maniere imparfaite dont l'hétérogénéité des terres permet à la poudre de dessiner des formes tranchantes, ainsi qu'aux petits éboulemens qui doivent s'opérer latéralement, et aux petits comblemens qui doivent arrondir les angles du fonds, aussitôt que l'explosion est produite. C'est de cette maniere que la figure a pu paroître une parabole, car ses caracteres en approchent, puisque l'ordonnée *& i'* à l'axe, étant quadruple de *c D*, le point *D*, seroit le sommet d'une parabole dont *& i'* = *d c* représenteroit la longueur du parametre de son axe; ensorte que les points *D*, *i'*, *b*, *a*, *&*, sont véritablement situés sur une parabole dont *d D* seroit l'axe et le point *c* le foyer.

10. Nous n'insisterons pas sur la legere différence qui distingue nos résultats géométriques des observations de Valiere; mais nous ne sommes pas d'accord avec Belidor, lorsqu'il assure que les terres du fonds de la mine ne sont que comprimées et non enlevées. Certainement tout démontre qu'il y a une compression sur toutes les faces des mines, et si la proximité du fourneau semble autoriser à penser qu'elle est d'autant plus forte au-dessous de son centre que la résistance de cette partie est plus grande, il est vrai, en même tems que dans cette partie, les terres doivent être moins compressibles, comme étant plus rassises et opposées à toute l'épaisseur du globe de la terre. Il y aura donc nécessairement à la fois et compression et division;

sion ; et si l'on doit regarder la poudre comme un corps parfaitement élastique dont les ressorts comprimés par la résistance, réagissent en sens contraire, il est évident que les rayons qui ont pénétré jusqu'aux points *D*, *k'*, *C*, où ils trouvent une résistance invincible, réagiront verticalement de bas en haut, et enlevront toutes les terres divisées par leur action de haut en bas. Ce n'est même que de cette maniere que l'on peut supposer que l'effet de la poudre qui agit en dessous, peut se joindre en partie à celui qui se porte vers la surface du terrain. Si l'on remarque des éboulemens après l'explosion de la mine, ils ne proviennent que des chûtes de *matieres* qui retombent dans l'entonnoir, ou des parties dont la tenacité n'offre pas assez de résistance pour être portées en dehors.

PROBLÊME.

1. *Calculer avec exactitude le solide de l'excavation de la mine, sous la figure que l'on vient de déterminer.*

SOLUTION.

Généralisons les expressions en nommant :
le grand rayon *d b*, du cône supérieur . . . . *R*
le petit rayon *c i'*, du même cône . . . . *r*
le petit rayon *D k'*, du cône inférieur . . . . *a*
la ligne *d c*, de moindre résistance . . . . *m*
la ligne *c D*, que j'appelle *de moindre compression* . *c*
la hauteur *d K* du grand cône . . . . *H*
la hauteur *c K*, du cône moyen qui fait partie du précédent . . . . *h*
la hauteur *c P* du petit cône dont l'excavation du fond fait partie . . . . *b*
celle, *D P* de sa portion *O P k'* . . . . *d*
le solide du grand cône *a K b* . . . . *S*

celui du cône moyen & $K i'$ . . . . t
celui du cône tronqué supérieur $a\, b\, i$ & . . . . T
celui du petit cône entier & $P i'$ . . . . e
celui de sa partie $O\, P\, k'$ . . . . u
celui du cône tronqué inférieur & $O\, k'\, i'$ v
Enfin, le solide de l'excavation de la mine . . . . . x.

Il résulte de ces dénominations que l'on a $x = T + v$. En nous attachant dabord à la valeur de T, nous aurons aussi $T = S - s$. Or, S est égal à la surface du cercle qui a R pour rayon, multipliée par $\frac{H}{3}$, et la circonférence de ce cercle étant le quatrieme terme de cette proportion,

$$7 : 22 :: 2\,R : \frac{44\,R}{7};$$

sa surface sera $\frac{44 R}{7} \times \frac{R}{2}$; ainsi $S = \frac{44 R}{7} \times \frac{R}{2} \times \frac{H}{3}$. Par les mêmes raisons $s = \frac{44 r}{7} \times \frac{r}{2} \times \frac{h}{3}$. Mais puisque (hypothese) $R = 2\,r$, en remplaçant r par sa valeur en R, la derniere analogie devient celle-ci :

$$s = \frac{22\,R}{7} \times \frac{R}{2 \times 2} \times \frac{h}{3}. \text{ Conséquemment,}$$

$$T = \left(\frac{44 R}{7} \times \frac{R}{2} \times \frac{H}{3}\right) - \left(\frac{22\,R}{7} \times \frac{R}{2 \times 2} \times \frac{h}{3}\right).$$

Or, $H = 2m$, et $h = m$; car $dKb \propto cKi'$, et par cette raison $R : r :: H : h$; et puisque $R = 2\,r$, on a aussi $H = 2h$; conséquemment $h = m$, puisque $H = h + m$; et enfin $H = 2m$: substituant donc à la place de R, H, h, leurs valeurs m, $2\,m$, m, la valeur de T se réduit à celle-ci :

$$T = \left(\frac{44\,m}{7} \times \frac{m}{2} \times \frac{2m}{3}\right) - \left(\frac{22\,m}{7} \times \frac{m}{2 \times 2} \times \frac{m}{3}\right),$$

ou bien $T = \frac{88\,m^3}{7 \times 2 \times 3} - \frac{22\,m^3}{7 \times 2 \times 2 \times 3}$; ou bien encore

$T = \frac{88\,m^3}{7 \times 2 \times 3} - \frac{11\,m^3}{7 \times 2 \times 3} = \frac{77\,m^3}{7 \times 2 \times 3}$; d'où je tire enfin

$T = \frac{11 m^3}{6} = m^3 \times \frac{11}{6}$; ce qui me donne $x = m^3 \times \frac{11}{6} + v$, quantité dans laquelle v m'est encore inconnu. Pour trouver ce solide j'opere d'une maniere semblable à celle que j'ai employée pour avoir la valeur de T. Je considere d'abord que $v = t - u$: or t est égal à la surface du cercle qui a r pour rayon, multipliée par $\frac{b}{3}$. Ainsi, en reprenant cette surface déja trouvée précédemment, l'on a, $t = \frac{44 r}{7} \times \frac{r}{2} \times \frac{b}{3}$.

Et par la même raison $u = \frac{44 a}{7} \times \frac{a}{2} \times \frac{d}{3}$. Mais j'observe que $Dk' = cD$, puisque $ad = dc$. En outre $cD = \frac{ci'}{x}$, puisque (N°. 5.) $cD : ci' :: ci' : cd$, et que $ci' = \frac{cd}{2}$. Donc, en reprenant les expressions générales, $a = \frac{r}{2}$; ainsi en substituant pour a cette derniere expression dans la valeur de u, l'on a $u = \frac{22 r}{2} \times \frac{r}{2 \times 2} \times \frac{d}{3}$. Je dis de plus que $b = r$ et $d = \frac{r}{2}$, puisque $Dk' = \frac{ci'}{2}$. Il en résulte que $v = \left(\frac{44 r}{7} \times \frac{r}{2} \times \frac{r}{3}\right) - \left(\frac{22 r}{7} \times \frac{r}{2 \times 2} \times \frac{r}{3 \times 2}\right)$, ou bien $v = \frac{44 r^3}{7 \times 2 \times 3} - \frac{22 r^3}{7 \times 2 \times 2 \times 2 \times 3} = \frac{88 r^3}{7 \times 2 \times 2 \times 3} - \frac{11 r^3}{7 \times 2 \times 2 \times 3} = \frac{77 r^3}{7 \times 2 \times 2 \times 3} = \frac{11 r^3}{12} = r^3 \times \frac{11}{12}$. Et puisque $r = \frac{m}{2}$, il en résulte $v = m^3 \times \frac{11}{96}$. Mettant donc cette valeur dans celle de x, l'on trouve $x = m^3 \times \frac{11}{6} + m^3 \times \frac{11}{96} = m^3 \times \frac{187}{96}$; et enfin, $x = m^3 \times \left(1 + \frac{91}{96}\right)$.

REMARQUE.

11. Il est donc prouvé 1°. que dans le cas d'un cône tronqué dont le rayon de la base inférieure est moitié de celui de la base supérieure et égal à la ligne de moindre résistance, l'excavation de la mine est égale au cube de cette ligne multiplié par la fraction $\frac{11}{6}$. 2°. qu'en supposant que l'espece de cul de chaudron, ou de second cône tronqué qui se forme au-dessous du fourneau, doit être compris dans l'excavation, il donne séparément un solide égal au cube de la ligne de moindre résistance multiplié par la fraction $\frac{11}{96}$, c'est-à-dire qui est au premier dans le rapport de 1 à 16. 3°. que le solide total, mesuré exactement, est égal au cube de la ligne de moindre résistance multiplié par la fraction $\frac{187}{96}$, qui ne differe que de $\frac{5}{96}$, du double de ce cube.

12. Ces résultats étant peu différens de ceux de Valiere, appliquons-les à un exemple. Les expériences qui ont servi de base aux calculs de cet officier, ont fait distinguer trois sortes de terrains différens par leur poids et leur tenacité, et conséquemment trois sortes de charges relatives à la quantité de poudre qu'il faut pour les enlever. La premiere espece de terre connue sous le nom de *terre remuée* ou *sable maigre*, pese 20,520 liv. la toise cube, et il faut au moins 9 liv. de poudre pour la dégager et l'enlever; la seconde que l'on appelle *sable fort* ou *tuf*, pese 26,784 liv. la toise, et demande 11 liv. de charge; la troisieme connue sous le nom *d'argile et terre forte*, pese 29,160 liv. la toise, et demande au moins 15 liv. de poudre.

Pour appliquer ces données aux formules que nous avons trouvées, supposons que $m = 6$ pieds, et qu'il s'agit de l'effet d'une mine dans le tuf, c'est-à-dire dans

cette espece de terrain dont l'enlevement d'une toise cube exige 11 liv. de poudre, nous aurons conséquemment $Y = 216$ pieds $\times \frac{11}{6} = 396$ pieds cubes. La quantité de poudre cherchée est donc le quatrieme terme de cette proportion, 216 : 176 onces :: 396 : 20 liv. 2 onces $\frac{2}{3}$.

Arrêtons-nous ici un moment pour remarquer que ce résultat ne differe que de 2 onces $\frac{2}{3}$ de celui de Vauban, qui est de 20 liv. juste; et qu'il s'approche plus encore de celui de Valiere, qui est de 20 liv. 4 onces.

D'où vient cette similitude de résultats dans des hypotheses si différentes? Car Vauban ne prend pour l'excavation de sa mine de six pieds de moindre résistance, que le cube de cette ligne augmentée de la demi-profondeur du fourneau, qui est ici à-peu-près de 4 pouces, ce qui ne donne que 260 pieds 8 pouces 4 lignes.

Il faut observer à cet égard que si Vauban a été dans l'erreur sur la figure de l'excavation, l'expérience a nécessairement dû redresser ses calculs, et que, croyant n'avoir à enlever qu'un cône de 261 pieds, tandis que Valiere croyoit avoir un cône tronqué, ou un paraboloïde peu différent, de 396 pieds; il ne leur en a pas moins fallu, pour la même mine, la même quantité de poudre dans la même nature de terrain, et que Vauban a seulement conclu qu'il lui en falloit davantage pour une toise cube de ce terrain. En effet, Vauban demande 17 l. de poudre au lieu de 11, pour enlever une toise cube de *sable fort* ou *tuf*, ce qui donne pour 261 pieds cubes, une charge de 20 $\frac{1}{2}$ livres de poudre, qu'il a réduite à 20 liv. C'est ainsi que Valiere établit à 12 pieds de profondeur une charge de 162 liv. de poudre, et que Vauban trouve, à cette profondeur, qu'il lui en faut 161 liv. 2 onc., dans le sable fort que Valiere met au niveau du tuf, et qui paroît être la qualité de terrain à laquelle il a rapporté sa table. Au surplus, on se rappellera que Vau-

ban se défioit lui-même tellement de la foiblesse de ses résultats, qu'il recommande sans cesse d'y faire de fortes additions, quelquefois d'une façon vague, mais le plus souvent *d'un cinquieme*, ce qui paroît considérable, mais ce qui supplée évidemment à la différence qu'il y a de son solide à celui de Valiere et au nôtre, quoiqu'il n'en établisse la nécessité que sur l'altération qui peut survenir à la force de la poudre. Enfin, Vauban prend encore pour le solide de son cône, le cube de sa hauteur, qui excede ce cône dans le rapport de la surface du quarré à celle du cercle dont le rayon est égal au côté de ce quarré; ce qui, dans l'hypothese de 6 pieds de ligne de moindre résistance, porte cette différence à 10 pieds cubes pour lesquels il faut 5 onces de poudre, etc.

Quoi qu'il en soit, si, pour suivre notre application, nous cherchons la valeur de $v = m^3 \times \frac{11}{96}$, nous trouverons que ce solide, considéré séparément, est de 24pi. 4po. 6lig., et qu'il exigeroit une augmentation de charge de 1 liv. 4 onc. $\frac{1}{6}$, conséquemment, en prenant la valeur entiere de x, l'on auroit $x =$ 420pi. 4po. 6lig. pour l'excavation totale de la mine, pour laquelle il faudroit alors 21 liv. 6 onc. $\frac{5}{6}$ de poudre.

13. Il résulte de ce qui précede, qu'en rapportant la charge et le calcul de l'excavation des mines à la forme d'un cône tronqué, tel que nous l'avons défini, abstraction faite du vide au-dessous du fourneau, l'on diminue alors la charge d'un sixieme de T, et que l'on reste de ce même sixieme au-dessous de ce qu'il faudroit qu'elle fût pour être en proportion avec le solide entier x; mais aussi disons-nous qu'une partie de v n'est que comprimée et point enlevée; qu'une autre, de peu d'étendue il est vrai, est occupée par la chambre, or la quantité proportionnelle dont ces circonstances diminuent la masse à extraire, ne peut être déterminée, pas même par ap-

proximation. Il faut donc, à cet égard, établir un principe par estimation. Le rapport de v à T démontre qu'on ne peut commettre une erreur sensible, en réduisant, en général, v de maniere qu'on ait $v = \frac{T}{30}$, au lieu de $v = \frac{T}{16}$. C'est donner moins que moitié de v à la réduction de x, et se procurer un rapport facile à introduire dans les calculs.

D'après cela, nous regardons comme un principe invariable que *pour avoir le solide de l'excavation d'une mine, il faut multiplier le cube de la ligne de moindre résistance par* 11, *diviser le produit de cette multiplication par* 6, *puis ajouter au quotient le* 30e. *de sa valeur.* Ce 30e. peut se prendre en retranchant le dernier chiffre du nombre qui exprime T, et prenant le tiers du reste, sans égard aux fractions au-dessous d'un demi-pied cube. Alors, *pour avoir la charge que demande l'enlevement de ce solide, il ne s'agira que de le multiplier par celle que l'expérience a fixée pour l'enlevement d'une toise du terrain dans lequel on veut établir la mine.*

Ainsi, dans l'exemple précédent, après avoir trouvé $T = 396^{\text{pieds}}$, je retranche le dernier chiffre du nombre 396, qui devient 39, dont je prends le tiers qui est 13, que j'ajoute à 396, ce qui me donne 409 pieds cubes à enlever ; alors la regle de proportion (N°. 12.) devient celle-ci, $216 : 176^{\text{onc.}} :: 409 : 333^{\text{onc.}} \frac{7}{27} = 20$ liv. $13^{\text{onc.}} \frac{7}{27}$, résultat un peu plus fort que ceux de Valiere et de Vauban, qui excede aussi celui que nous avons trouvé (N°. 12.), mais qui est au-dessous de celui des Tables que nous avons insérées dans notre Traité de la guerre des retranchemens pour la charge des fougasses, parce que nous avions adopté le principe d'augmenter d'un

douzieme, le résultat du calcul rigoureux, ce qui paroît en effet un peu trop le forcer. Quant à la quantité modique dont celui que nous venons de trouver surpasse les Tables des deux auteurs dont nous avons parlé, elle peut suppléer aux causes nombreuses qui affoiblissent la poudre dans le moment de l'usage, et nous pensons que les charges ainsi déterminées, n'en produiront qu'un meilleur effet. C'est d'après cette opinion que nous donnons une Table Nouvelle très détaillée, sur l'usage et l'utilité de laquelle nous ne croyons pas avoir besoin de nous expliquer. Nous dirons seulement que les calculs en sont d'une extrême exactitude, et que, sous ce rapport seul, ils sont préférables à ceux de Vauban, qui paroissent avoir été altérés par ceux qui nous les ont transmis, ou originairement assujétis à des données moins rigoureusement combinées.

14. Nous avons supposé (N° 12.) que la poudre formoit une masse sphérique; mais la difficulté de la placer sous cette forme dans le fourneau d'une mine, oblige à lui substituer celle du cube. En résulte-t-il un changement dans l'effet? c'est une question qui demande ici un instant d'examen.

Il paroît certain, *en principe*, que la même quantité de poudre n'étant susceptible que d'un effet déterminé, le rayon d'activité doit s'alonger ou se raccourcir en raison de la quantité de cette matiere qui s'enflamme, et qui agit suivant ce rayon: c'est pour cette raison que les effets des rayons d'une charge sphérique sont égaux entre eux, et qu'ils composent, dans l'explosion, une autre sphere concentrique à la premiere, que nous avons appelée la sphere d'activité de la poudre. Or, dans le cube, les distances du centre aux différens points de sa surface sont différentes; celles de ce centre aux angles du solide sont les plus longues, et comprennent conséquemment

une plus grande quantité de poudre. Il s'ensuivroit donc que les effets correspondans devroient être proportionnels à ces distances, et qu'on démontreroit qu'une charge cubique doit former une excavation pyramidale quadrangulaire tronquée, comme nous avons prouvé que la charge sphérique produisoit un déblai conique. Cependant les auteurs s'accordent à ne reconnoître aucune différence *sensible* entre les deux effets : ils prétendent que sous la forme du cube la poudre agit circulairement comme dans celle du globe. S'ils préferent la premiere à la derniere, c'est parce que l'embrasement se fait tout à la fois à des distances égales du centre, et que dans le cube, celui des angles se faisant le dernier, semble ne pas admettre la même spontanéité dans l'effet, et conséquemment devoir l'affoiblir. Peut-être cette remarque expliquera-t-elle pourquoi l'on ne voit pas dans l'entonnoir de la mine, les arêtes qui devroient en faire une pyramide. Car l'on peut aisément concevoir que la poudre agit dès que la sphere, que l'on peut imaginer circonscrite par les côtés du cube, est embrasée suivant les rayons perpendiculaires à ces côtés, et qu'alors la portion de poudre excédente à ce globe, ne sert plus qu'à enlever les terres déja détachées, après que la forme conique de l'entonnoir est déterminée. Il est vrai qu'il en résulteroit en même tems que cette portion devient nulle quant *à la quantité* des terres à enlever, comme à l'égard de la figure ; mais cette supposition ne changeroit en rien les rapports déterminés, puisque toutes les expériences ont été faites avec des charges à-peu-près de forme cubique. Il est possible encore que, dès qu'une certaine masse de poudre est enflammée au centre du fourneau, tout, alors déja, se comprime circulairement, et que le feu lui-même, en brisant la boîte à poudre, force cette matiere à se répandre suivant une

forme à-peu-près globulaire autour de son centre, ce qui rameneroit l'effet à celui de la charge sphérique. Quoi qu'il en soit, toujours est-il certain que l'influence de la forme quarrée du fourneau n'a paru sensible à l'extérieur dans aucune épreuve ; et comme il est plus facile de former une boîte à poudre et un fourneau cubiques, que de construire des spheres, c'est à cette premiere figure que l'on est forcé de s'en tenir, en laissant à la théorie seule, le développement des causes dont les effets devroient former un tronc pyramidal quarré, au lieu d'un tronc conique.

Il est cependant une observation à faire, c'est que si l'on part du principe qu'une masse constante de poudre doit enlever une masse constante de terrain de même nature, il en résulteroit qu'il faudroit que le solide du tronc pyramidal fût égal à celui du tronc conique ; et comme ils ont tous deux la ligne de moindre résistance pour hauteur, il faudroit aussi que les surfaces des bases correspondantes fussent égales. Ainsi, en nommant a le côté du quarré servant de grande base au tronc pyramidal, et R le rayon du cercle de la grande base du tronc conique, on auroit $a^2 = \frac{22 R^2}{7}$ ou $a = \sqrt[2]{\frac{22 R^2}{7}} = \sqrt[2]{113 \frac{1}{7}}$ $= 10^{pi.}\ 7^{po.}\ 8^{lig.}$ à-peu-près, dans l'hypothese précédente où l'on a $R = 6$ pieds ; ce qui indique que le côté du quarré de la base de la pyramide (ou l'ouverture de la mine à la surface du terrain) seroit plus petit que le diametre du cercle de la base correspondante du cône, conséquemment que la moitié de ce côté seroit aussi plus petite que la ligne de moindre résistance, résultat contraire à toutes nos suppositions.

15. Quand on n'a que des fougasses, ou des mines au-dessous de 12 pieds de ligne de moindre résistance à établir, nous verrons que l'on peut avantageusement

employer les bombes de 12 pouces pour les charger, et que, dans ce cas, l'on conserve au fourneau la forme sphérique, qui, sous le rapport de l'uniformité et de la spontanéité de l'inflammation, est sans contredit celle qui doit être préférée.

16. La théorie que nous avons développée jusqu'ici, est exacte dans ses résultats, et l'expérience les confirme, quoique nous ayons supposé que les longueurs $d\,g'$, $e'\,i$, $f'\,l$, sont égales, tandis qu'elles sont des cordes paralleles de l'arc d'un grand cercle du globe de la terre.

Mais si l'on supposoit un fourneau placé à telle profondeur que la ligne de moindre résistance $c\,d$ ne fût pas infiniment petite par rapport au rayon $A\,E$ de la terre, la droite $d\,g'$, devenant alors un arc $h\,E\,F\,G\,p$, il est évident que les demi-cordes $f'\,F$, $f'\,G$, $h'\,H$, ne seroient pas égales, et conséquemment que les résistances que la mine auroit à vaincre, ne seroient plus proportionelles aux hauteurs $b\,a'$, $b\,b'$, $b\,c'$, etc. ainsi que nous l'avons supposé.

17. Supposons maintenant que le fourneau C, contenant toujours la même masse de poudre, soit dans le même terrain, beaucoup plus rapproché de sa surface, et essayons de reconnoître ce qui doit en arriver.

Admettons que la ligne $c\,d$ de moindre résistance, est ici moitié de ce qu'elle étoit.

En faisant à cette nouvelle donnée l'application du principe de l'inflammation circulaire et successive de la charge, on peut raisonner ainsi : la poudre ayant développé son effort suivant la ligne $d\,c$ de moindre résistance (*fig.* 2.), ne pourra pas avoir porté au même instant son effet jusqu'à l'extrémité g du rayon horizontal $c\,g$, parce qu'il y a plus de résistance suivant cette derniere ligne que suivant la premiere. L'effet sera donc seulement parvenu dans cet instant à un point h, inter-

médiaire aux extrémités de ce rayon, et au moment où la mine s'ouvrira en d, et ne trouvera plus de résistance de ce côté, l'effort de la poudre se portera vers ce vuide, et cessera d'agir de h vers g, l'ouverture supérieure de la mine étant alors déterminée. Mais les mêmes terres résistent suivant les mêmes lois, contre des forces égales ayant les mêmes directions. Donc, si, dans le cas du problême, la ligne xi' marque la résistance que les terres ont opposée au rayon $cy = cv$, sous une charge exprimée par bx, l'on doit avoir ce rapport $bx : xi' :: fg : gh$, et puisque $xi' = \frac{bx}{2}$, il en résulte que $gh = \frac{fh}{2}$.

D'un autre côté, et par le même principe, puisque la poudre en agissant suivant ca, cb (*fig.* 1.), a enlevé le triangle acb, il est évident qu'elle enlevera à plus forte raison le triangle ecf (*fig.* 2.), en supposant les angles au centre c, égaux et divisés en deux parties égales par les lignes de moindre résistance. Mais le point f où ce dernier triangle coupe l'horizon ab, est le même où la ligne gf rencontre le même horizon, et au-delà duquel l'effet cesse de s'étendre, comme nous l'avons dit. Donc df est le rayon de l'ouverture supérieure de la mine. Or nous avons $gh = \frac{fg}{2}$. De plus, $fg = dc = cg = df$. Donc $ch = \frac{df}{2}$. Donc le rayon de l'ouverture, au niveau du centre du fourneau, est, comme dans le cas du problême (N°. 12.), moitié de celui de l'ouverture supérieure. En cherchant les points intermédiaires aux points f, h où les rayons compris entre ceux ch, cf, cesseront d'enlever des terres, l'on trouvera par nos raisonnemens que fh est une ligne droite, et conséquemment que le cône renversé $eihf$ (*fig.* 2.), est semblable au cône renversé $a\&i'b$ (*fig.* 1.), conséquemment que

l'on a, $eihf : a\&i'b :: 1 : 8$, puisque les lignes de moindre résistance sont entre elles comme 1 à 2.

L'on prouveroit de même, que les effets pris au-dessous des rayons horizontaux, sont aussi semblables entre eux ; il résulteroit donc de cette maniere d'envisager la question, que, dans le cas d'une charge trop forte, relativement à la ligne de moindre résistance d'une mine, la figure de l'excavation ne change pas, et que les solides enlevés sont en raison inverse des cubes des lignes de moindre résistance.

Peut-être devons-nous rapporter à cette similitude des figures, ce que Vauban croit avoir vérifié, savoir que dans le cas d'une charge sensiblement trop forte, la mine ne fait qu'une espece de trou ; car certainement l'on peut appeler ainsi la figure 2, relativement à la premiere, en considérant que les charges sont les mêmes.

18. Mais cette théorie ne satisfait point à l'opinion de Belidor, ni aux expériences sur lesquelles il la fonde. Voici celles qu'il rapporte, et qui la démentent.

» *Dans l'endroit*, dit cet auteur, où l'on fait les ma-
» nœuvres de l'école d'artillerie de la Fere, on trouve,
» en creusant dans les différens endroits, trois especes
» de terrains : la premiere est une terre jaunâtre et sa-
» blonneuse ; la seconde est un sable melé de tuf assez
» dur, et la troisieme est composée d'une terre glaise
» extrêmement forte.

» Nous avons fait jouer en différens tems, dans tous
» ces terrains, un grand nombres de mines pour des
» expériences. Ayant fait des observations très exactes
» sur leurs différens effets, j'ai remarqué que dans la
» premiere espece de terrain, il falloit 100 livres de
» poudre pour la charge des fourneaux qui avoient [illegible]
» pieds de ligne de moindre résistance, afin que leurs
» diametres fussent doubles de la ligne de moindre

» résistance (1) ; que pour un semblable effet à la même » profondeur, dans la seconde espece de terrain, il en » falloit 170 (2) ; enfin dans la troisieme environ 200, » toujours à 10 pieds de profondeur (3). Toutes les » mines que nous avons fait jouer depuis le commen- » cement de l'École, en 1720, jusqu'en l'année 1725, » ne m'en avoient guere appris davantage, lorsque cette » même année nous fîmes de nouvelles expériences. Il » est arrivé qu'en les faisant dans la seconde espece de » terrain, un fourneau qui étoit chargé de 300 livres » de poudre, et qui n'avoit que 10 pieds de ligne de » moindre résistance, fit un entonnoir dont le diametre » avoit 27 pieds, au lieu de 20, et qu'un autre fourneau » qui avoit 15 pieds de ligne de moindre résistance, » chargé de 980 livres, fit un entonnoir dont le dia- » metre se trouva de 40 pieds 2 pouces, par conséquent » d'environ 10 pieds de plus que de coutume. D'autres » fourneaux que l'on fit jouer pour le même sujet, don- » nerent aussi des entonnoirs plus ou moins grands que » le double de la ligne de moindre résistance, selon » qu'ils étoient plus ou moins chargés. »

19. Pour expliquer cet effet, il faut appeler à son secours la résistance de l'air : Belidor remarque que ce fluide pese sur la charge de la mine, autant qu'une

---

(1) Cette expérience répond à-peu-près à la colonne de la table de Vauban, concernant les charges pour la terre mêlée. Elle s'accorde de même avec celle de Valiere pour le sable fort ou tuf.

(2) Cette proportion excede de 48 livres celle des terres fortes mêlées de cailloux, suivant Vauban ; et de 32 livres, celle qui convient à l'argile et à la terre forte suivant Valiere, quoique ces especes de terrains soient celles auxquelles ces officiers attribuent respectivement la plus grande résistance.

(3) Cette proportion excede respectivement de 78 liv. et 62 liv. les plus fortes charges de Vauban et de Valiere. Comment établir des principes certains sur de telles différences ?

masse de sable qui auroit à-peu-près 20 pieds d'épaisseur; car le poids de l'atmosphere équivaut à celui d'une colonne d'eau de même base et de 32 pieds de hauteur, et l'eau pesant 70 livres le pied cube, et le sable 120, il en résulte cette analogie: 120 livres: 70 :: 32 pieds : 18 pieds 8 pouces, dont le quatrieme terme exprime la hauteur d'une masse de sable d'un poids égal à l'atmosphere, hauteur pour laquelle Belidor prend le nombre plus rond, 20 pieds. Il conclut de cette pression, que la poudre, plus long-tems contenue par elle, que si la charge n'avoit eu à vaincre que les terres qui lui sont opposées, doit nécessairement agir plus long-tems latéralement, et conséquemment faire une ouverture plus grande que si elle n'avoit eu que cette derniere matiere à enlever. Par cette raison, il paroîtroit que lorsque la charge (restant la même qu'elle doit être pour former un entonnoir dont le rayon de l'ouverture au niveau du terrain, soit égal à la ligne de moindre résistance) se trouve plus rapprochée de l'horizon, et que le segment de la sphere d'activité au-dessus du sol est proportionnellement plus grand, le rayon de l'ouverture supérieure doit aussi augmenter par rapport à la ligne de moindre résistance, puisque ce segment plus grand répond alors à une colonne d'air d'une base plus grande, et qui, devenant plus difficile à soulever, résiste jusqu'à ce que la poudre en agissant sur tous ses points, l'ébranle par-tout et l'enleve enfin, en commençant d'abord par le centre, puis faisant suivre successivement les terres sur les autres rayons, à mesure de leur éloignement, et jusqu'à ceux *c a*, *c b*, qui aboutissent au cercle suivant lequel le segment du globe coupe l'horizon; ensorte que cet effet, au lieu d'excaver le secteur *a c b* (*fig.* 1), déblaie le secteur *a c b* (*fig.* 2).

Si, pour se rendre compte de l'effet inférieur à ce

secteur, l'on considere maintenant que le poids de l'air agit de même sur la portion $c r$ du rayon horizontal $c v$, l'on concevra qu'il doit en résulter, que, puisque $c\, i' = \frac{d\, b}{2}$ (*fig.* 1.), l'on doit aussi avoir $c m = \frac{d\, b}{2}$ (*fig* 2.); et que le reste de la figure se déterminant suivant notre théorie (N°. 12,), cette figure deviendra celle $a\, b\, m\, n\, o\, x\, a$, composée de deux cônes tronqués renversés, joints par la section commune $x\, m$.

Il paroît, d'après cette explication, que le talus des terres prend latéralement une base $m\, r$, d'autant plus grande que la colonne d'air pese davantage sur le globe d'activité ; car si ce talus ne devoit être proportionnel qu'à la hauteur des terres il n'auroit pour base que la ligne $r\, q = \frac{b\, r}{2}$; puisque $i' x = \frac{b\, x}{2}$ (*fig.* 1.).

20. Il est une autre cause qui concourt à faire $r\, m > r\, q$ ou $\frac{b\, r}{2}$; car supposant $e\, c$ (*fig.* 1.) égale à $d\, c$ (*fig.* 2.), l'on trouve que les portions de charge qui répondent à ces deux hauteurs égales de terrains, sont exprimées respectivement par les angles $q\, c\, y$ et $b\, c\, v$. Or, les arcs $t' y$ (*fig.* 1.) et $b\, v$ (*fig.* 2.) sont égaux, puisqu'ils appartiennent à des cercles égaux, et que (par hypothese) leurs demi-cordes $t'\, \&'$, $b\, r$, sont égales. Donc aussi angle $t' c\, y =$ ang. $b\, c\, v$; mais, ang. $q\, c\, y >$ ang. $t' c\, y$, donc aussi ang. $q\, c\, y >$ ang. $b\, c\, v$. Ainsi, à des hauteurs égales de terrain, dans les deux entonnoirs, répond une quantité moindre de poudre dans celui dont la ligne de moindre résistance est la plus courte. Elle doit donc, dans ce dernier cas, enlever aussi proportionnellement moins de terrain, c'est-à-dire, qu'il faut que le plain de terre $b\, m\, r$, reste plus grand que le plain de terre correspondant $q\, t' y = b\, q\, r$, et conséquemment que l'on ait $r\, m > r\, q$.

Remarquons

Remarquons enfin, que rm sera d'autant plus grand que rq, que l'angle bcy, sous lequel se produit tout l'effet latéral dans le premier cas, sera plus grand que l'angle bcv, sous lequel l'effet correspondant se produit dans le second; et que, pour supposer que l'entonnoir prend dans celui-ci la figure $abqnopa$, il faudroit admettre que le solide cbq est enlevé par une charge bcr, infiniment plus petite que celle bcy, qui, dans l'autre, ne peut enlever que le solide $ci'b < cbq$.

21. Malgré l'explication satisfaisante qui résulte de cette théorie, il nous paroît désirable que de nouvelles expériences la confirment; le crédit seul de celles que rapporte Bélidor ne nous paroît pas suffire pour établir invariablement les principes qu'il en déduit, et l'importance de l'objet nous paroît d'autant plus mériter la peine d'une vérification très scrupuleuse, qu'il tend à la perfection de la science qui doit faire à l'avenir la partie la plus essentielle de la guerre défensive.

En attendant, nous observerons ici que, quoique l'auteur dont nous parlons ne regarde pas l'excavation d'une mine comme un paraboloïde, mais qu'il assure au contraire qu'elle est un cône tronqué, il nous peint néanmoins cette figure sur toutes ses planches avec un profil parabolique; ce que nous regarderons plutôt comme une distraction que comme une contradiction ou une preuve d'incertitude.

Quoi qu'il en soit, l'on pourroit encore appliquer les développemens que nous avons donné sur l'effet de la poudre, aux mines dont la ligne de moindre résistance est plus grande que celle qui, par son rapport avec la charge, détermine les proportions de la figure premiere; mais cette application n'offriroit rien d'utile pour la pratique, qui ne demande que les plus grands effets extérieurs dans l'explosion des fourneaux. En nous bornant

donc à ce que nous avons dit sur cette matiere, nous allons passer à la maniere de calculer, *dans l'hypothese de Bélidor*, les surfaces qui peuvent être enlevées avec des charges données, ainsi que les charges des mines qui doivent produire des effets déterminés.

PROBLÊME.

22. *Ayant deux charges égales de deux fourneaux établis à différentes profondeurs, et de telle maniere, que le premier ayant la ligne de moindre résistance connue* a, *produise dans son effet une excavation en cône tronqué dont le grand rayon soit* $b = a$, *et dont le petit rayon soit* $c = \frac{a}{2}$ *; trouver le rayon* x *du grand cercle de l'excavation du second fourneau, dans l'hypothese que sa ligne de moindre résistance est* d.

SOLUTION.

Puisque (N°. 19.) l'effet de la mine est toujours déterminé sur l'horizon par des rayons de la sphere d'activité, et que les spheres d'activité des charges égales sont égales entre elles, et conséquemment ont des rayons égaux; en appelant R le rayon de la sphere du premier fourneau, et en considérant qu'il est l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont la ligne de moindre résistance et le rayon du grand cercle sont les côtés, l'on aura $R^2 = 2a^2$. Conséquemment si l'on nomme r le rayon de la sphere du second fourneau, l'on aura aussi $r^2 = 2a^2$.

Mais, par la même raison, le second effet nous donne $x^2 = r^2 - d^2 = 2a^2 - d^2$; ou bien $x = \sqrt[2]{(2a^2 - d^2)}$, expression générale qui indique que, *pour trouver le rayon* x *de l'ouverture d'une mine quelconque, ayant une charge égale à celle d'une mine dont l'effet est connu, il faut retrancher du double du quarré de la ligne de moindre*

résistance de la mine de comparaison, le quarré de la ligne de moindre résistance de celle dont on calcule l'effet, et prendre la racine quarrée du reste de la soustraction.

23. Appliquons cette solution aux deux figures précédentes, où nous avons supposé $a = 6$ pieds, $d = 3$ pieds; nous aurons $x = \sqrt[2]{(72 - 9)} = \sqrt[2]{63} = 7$ pieds 11 pouces 3 lignes. Ainsi, avec la même charge, au lieu d'un entonnoir de douze pieds d'ouverture, l'on peut en faire un de 15 pi. 10 pou. 6 lig., en ne donnant à la mine qu'une ligne de moindre résistance de trois pieds au lieu de 6.

24. Il résulte de ce qui précede (N°. 22 et 23.) que les charges des mines et leurs lignes de moindre résistance, étant connues par les tables de Vauban ou de Valiere, il est facile de trouver l'effet que produiroient ces mêmes charges sous des lignes de moindre résistance d'une grandeur donnée, et différentes de celles auxquelles elles sont respectivement relatives. L'application de ce calcul ne nous paroît pas avoir besoin ici d'un nouvel exemple.

25. Il résulte encore de la formule $x = \sqrt[2]{(2a^2 - d^2)}$, que si $d^2 = 2a^2 = R$ ou r, que l'on aura $x = o$, c'est-à-dire, qu'il n'y aura pas d'effet extérieur, si le centre du fourneau répond à une ligne de moindre résistance égale au rayon de la sphere d'activité; ce qui doit arriver en effet, puisque, en aucun cas, l'effet de la mine ne peut s'étendre au-delà de ce rayon.

PROBLÊME.

26. *Connoissant la charge et les dimensions d'une mine d'épreuve, telles qu'on les trouve dans les tables, déterminer le rayon supérieur* x *de l'entonnoir d'une*

mine pratiquée dans le même terrain, dont la charge est représentée par a, *et la ligne de moindre résistance par* b.

SOLUTION.

Soit la charge connue du fourneau d'épreuve représentée par c
sa ligne de moindre résistance par . . . . d
le rayon de sa sphere d'activité par . . . . r
le rayon de la sphere d'activité du second fourneau par R.

Le fourneau d'épreuve donne : $r = \sqrt[2]{2d^2}$; conséquemment aussi $r^3 = (\sqrt[2]{2d^2})^3$, mais les spheres d'activité sont entre elles comme les charges, car les charges doubles ou triples, etc. donnent des spheres doubles ou triples etc., et ces spheres étant elles-mêmes dans le rapport des cubes de leurs rayons (géométrie, des solides), l'on aura : $c : a :: r^3 : R^3 = \frac{r^3 \times a}{c}$ ou $R = \sqrt[3]{\left(\frac{r^3 \times a}{c}\right)}$, ou bien $R^2 = \left[\sqrt[3]{\left(\frac{r^3 \times a}{c}\right)}\right]^2$. Le second fourneau donne, $x = \sqrt[2]{(R^2 - b^2)}$. Mettant donc à la place de R^2, sa valeur $\left[\sqrt[3]{\left(\frac{r^3 \times a}{c}\right)}\right]^2$, l'on a $x = ..$ $\sqrt[2]{\left[\left(\sqrt[3]{\frac{r^3 \times a}{c}}\right)^2 - b^2\right]}$. Puis, mettant encore à la place de r^3 sa valeur $(\sqrt[2]{2d^2})^3$, il en résulte

$$x = \sqrt[2]{\left[\left(\sqrt[3]{\left(\frac{(\sqrt[2]{2d^2})^3 \times a}{c}\right)}\right)^2 - b^2.\right]}$$

Cette expression indique que *pour avoir le grand rayon de l'entonnoir d'une mine dont la charge et la ligne de moindre résistance sont déterminées, il faut* 1°. *faire le quarré de la ligne de moindre résistance du fourneau d'épreuve ;* 2°. *prendre le double de ce quarré ;*

3°. *extraire de ce nombre la racine quarrée ; 4°. le multiplier par cette même racine pour avoir le cube de celle-ci ; 5°. multiplier ce cube par la charge de la mine en projet ; 6°. diviser ce produit par la charge de la mine d'épreuve ; 7°. extraire la racine cubique du quotient de la division ; 8°. multiplier cette racine par elle-même pour avoir son quarré ; 9°. faire le quarré de la ligne de moindre résistance de la mine projetée ; 10°. retrancher ce quarré du précédent ; 11°. enfin, extraire la racine quarrée du reste de cette soustraction.*

27. Il est important de retenir cette regle, parce qu'elle donne la solution de toutes les questions possibles de ce genre ; elle conduit même à celle du problême (N°. 22.) dans lequel les charges des deux fourneaux sont égales, et que nous n'en avons détaché qu'à cause du cas simple et particulier auquel il est relatif. Passons de cette formule à quelques-unes des applications dont elle est susceptible.

28. Supposons $a = c$. L'équation $x = \ldots$ $\sqrt[2]{\left[\left(\sqrt[3]{\left(\frac{(\sqrt[2]{2d^2})^3 \times a}{c}\right)}\right)^2 - b^2\right]}$ se réduit à celle-ci : $\sqrt[2]{(2\,d^2 - b^2)}$ qui, comme nous venons de le dire, est la même que celle $\sqrt[2]{(2a^2 - d^2)}$ (N°. 22.), et donne $x =$ 15pi. 10po. 6lig., comme nous l'avons trouvé (N°. 23.), en faisant $d = 6$pi. $b = 3$pi.

29. Supposons maintenant que $a = 50$, $c = 75$, $d = 10$, $b = 8$, l'on aura $x = \sqrt[2]{(88^{\text{pi.}}\ 7^{\text{pou.}}\ 6^{\text{lign.}})}$, conséquemment $x = 9$ pieds 5 pouces, à-peu-près.

L'on voit ici que les charges, comme les lignes de moindre résistance, sont respectivement différentes, et que l'on peut, pour trouver toutes les grandeurs de x, embrasser tous les possibles de ces différences, en variant

les données ; ce qui peut être extrêmement utile dans la pratique, comme nous le verrons par la suite.

REMARQUE.

30. Ce seroit cependant une erreur de pratique que de supposer qu'à mesure que la même charge est placée plus près de l'horizon, le rayon de l'entonnoir augmente proportionnellement par rapport à la ligne de moindre résistance. Dès que la charge est sensiblement trop forte par rapport à une très courte ligne de moindre résistance, les terres ne résistent plus assez, malgré la pression de l'atmosphere, pour permettre aux rayons de la sphere d'activité, alors très obliques à l'horizon, de les diviser sans que la poudre échappe; et Bélidor lui-même ne pense pas que le grand rayon d'un entonnoir puisse être plus que le triple de la ligne de moindre résistance : c'est à de nouvelles expériences à déterminer ce maximum. Continuons l'application de notre formule, en supposant maintenant le grand rayon de l'entonnoir donné, et qu'il s'agisse de déterminer la charge *a* qui doit le produire sous une ligne de moindre résistance *b* donnée de grandeur, ou bien de trouver au contraire la ligne de moindre résistance, la charge étant fixée.

PROBLÊME.

31. *Connoissant la charge* c, *et la ligne de moindre résistance* d, *d'une mine, selon les Tables de Valiere ou de Vauban, trouver la charge* a *d'une mine projetée, qui doit produire sur l'horizon une ouverture dont le rayon* x *est donné, sous une ligne de moindre résistance* b *aussi donnée.*

SOLUTION.

Reprenons l'équat. $x=\sqrt{\left[\left(\sqrt[3]{\left(\frac{(\sqrt[2]{2d^2})^3\times a}{c}\right)}\right)^2-b^2.\right]}$

Tout est ici connu excepté a ; en dégageant cette inconnue, l'on trouve $a=\frac{(\sqrt[2]{(x^2+b^2)})^3}{[(\sqrt[2]{2d^2})]^3}\times c$, formule qui indique en général que, *pour avoir la charge demandée* a, *il faut* 1°. *multiplier le rayon de la mine en projet par lui-même pour avoir son quarré ;* 2°. *faire également le quarré de sa ligne de moindre résistance ;* 3°. *ajouter ces deux quarrés ensemble ;* 4°. *en extraire la racine quarrée ;* 5°. *multiplier la somme de ces quarrés par leur racine, pour avoir le cube de celle-ci ;* 6°. *faire le quarré de la ligne de moindre résistance de la mine d'épreuve ;* 7°. *doubler ce quarré ;* 8°. *extraire de cette somme la racine quarrée ;* 9°. *multiplier cette même somme par sa racine pour avoir le cube de celle-ci ;* 10°. *diviser le cube trouvé par la cinquieme opération par celui que donne la dixieme ;* 11°. *enfin, multiplier le quotient de cette division par la charge de la mine d'épreuve.*

32. L'on peut remarquer que le numérateur de la fraction précédente est égale au cube R^2 du rayon de la sphère d'activité de la charge cherchée (N°. 26.), puisque $x=\sqrt[2]{(R^2-b^2)}$; ou $x^2=R^2-b^2$, ou encore $x^2+b^2=R^2$; ou enfin, $R=\sqrt[2]{(x^2+b^2)}$: conséquemment $R^3=(\sqrt[2]{(x^2+b^2)})^3$. L'on a également $(\sqrt[2]{2d^2})^3=r$ (N°. 26.). Donc aussi $a=\frac{R^3}{r^3}\times c$; résultat que l'on eût pu tirer directement de cette proportion fondamentale, $c:a::r^3:R^3$, puisqu'elle donne aussi $a=\frac{R^3}{r^3}\times c$.

33. En appliquant les nombres à cette solution, la formule (N°. 31.) devient celle-ci : . . . .

$$a = \frac{(\sqrt[2]{[(9\text{ pi. }5\text{ po.})^2 + 8^2]})^3}{(\sqrt[2]{(2 \times 10^2)})^3} \times 75 = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\frac{(\sqrt[2]{(88.8.) + 64\text{pi.})})^3}{(\sqrt[2]{200})^3} \times 75 \text{; ou bien } a = \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\frac{(12\text{pi. }4\text{po. }4\text{lig.})^3}{(14\text{pi. }1\text{po. }9\text{lig.})^3} \times 75 = \frac{1888 - 9 - 1}{2829 - 2} \times 75 \text{; et,}$$

définitivement $a = 50$ livres de poudre, à-peu-près, ainsi que nous l'avions supposé (N°. 29).

PROBLÊME.

34. *Connoissant toujours la charge* c, *et la ligne de moindre résistance* d, *d'une mine, d'après les Tables de Vauban ou de Valiere, trouver la ligne de moindre résistance* b, *d'une mine en projet, telle qu'il la faut pour qu'elle produise une ouverture supérieure déterminée* x, *avec une charge donnée* a.

SOLUTION.

L'on voit qu'il ne s'agit ici que de reprendre la formule générale (N°. 26.), et d'en dégager l'inconnue *b*. Cette opération donnera :

$$b = \sqrt[2]{\left[\left(\sqrt[3]{\left(\frac{(\sqrt[2]{2d^2})^3 \times a}{c}\right)}\right)^2 - x^2.\right]}$$

Formule qui indique que, *pour trouver la ligne de moindre résistance demandée, il faut faire les huit premieres opérations du N°. 26, et que la neuvieme doit consister à faire le quarré du grand rayon de la mine projetée; la dixieme à retrancher ce quarré de celui donné par la huitieme; et enfin la onzieme à extraire la racine quarrée du reste de cette soustraction.*

35. Passons encore à l'application. Les huit premieres opérations indiquées (N°. 34.), donnent $b = \ldots$ $\sqrt[2]{(152^{pi.}\,7^{po.}\,6^{lig.} - x^2)}$. Or (N°. 29.), $x = 9^{pi.}\,5^{po.}$; donc $x^2 = 88^{pi.}\,8^{po.}\,1^{li.}$: conséquemment $b = \sqrt[2]{[(152^{pi.}\,7^{po.}\,6^{li.}) - (88^{pi.}\,8^{po.}\,1^{lig.})]}$; et, en négligeant les pouces et les lignes, qui se compensent à 7 li. près, $b = \sqrt[2]{64^{pi.}} = 8^{pi.}$ ainsi que nous l'avions supposé (N°. 29.)

PROBLÊME.

36. *Connoissant la charge et la ligne de moindre résistance d'une mine, disposer son fourneau de façon qu'il produise un entonnoir dont l'ouverture sur le terrain soit longitudinale, c'est-à-dire plus étendue en longueur qu'en largeur, et déterminer ces deux dimensions afin que cet effet soit connu.*

SOLUTION.

Disposons la charge de maniere qu'elle forme un parallélipipede rectangle (*fig.* 3.), dont l'un des côtés *a c* soit contenu un certain nombre de fois dans la base *c d*, et dont la face latérale soit le quarré du même côté *a c*. Cette opération est facile; car, faisons *a c* : *c d* :: 1 : 4, nous remarquerons que le parallélipipede se divisera en 4 cubes dont les côtés seront égaux à *a e*, et dont chacun doit contenir le quart de la charge. En supposant donc celle-ci de 1024 liv. de poudre, et prenant le quart de cette somme, qui est 256, *a c* sera égal au côté du cube qui pourra contenir 256 liv. de poudre. Mais, nous avons cette proportion : 64 liv. : $1^{pi.}$ :: $256^{liv.}$: $x = 4^{pi.}$ cubes. Donc $a\,c = \sqrt[2]{4^{pi.}} = 1^{pi.}\,7^{po.}\,1^{lig.}$, conséquemment $c\,d = 6^{pi.}\,4^{po.}\,4^{lig.}$

Cela posé, j'observe 1°. que l'effet dans le sens de la largeur, ne dépend que de la dimension en largeur du parallélipipede : 2°. que les deux cubes des extrémités sont les seuls qui paroissent pouvoir fixer l'ouverture de l'entonnoir dans le sens *ef* de sa longueur. Je tâche d'établir la démonstration de ces deux assertions.

1°. Il est évident qu'ayant plusieurs globes de poudre *g*, *h*, *i*, placés sur une même ligne droite, et dont les spheres d'activité se pénetrent ; si je coupe toutes ces spheres et les globes eux-mêmes par un même plan passant par leurs centres ou par la ligne qui les joint, je pourrois y remarquer que, lorsque deux rayons *hk*, *gk* ; *hm*, *gm* ; ou *hq*, *iq* ; *hp*, *ip*, partant des centres respectifs *h*, *g*, *k*, et également inclinés sur la ligne *gi* qui passe par ces centres, se rencontrent en des points *k*, *m*, *q*, *p*, après avoir concouru à détacher les terres qui se trouvent dans les espaces communs *glhn*, *irho*, suivant lesquels les spheres d'activité se pénetrent, il en résulte nécessairement une décomposition des forces restantes à ces rayons, représentées par les espaces non parcourus *ks*, *ku*, etc., dont les résultantes, telles que *kt*, sont perpendiculaires à *gi*, et moindres que *kl*, qui exprime la distance du point du choc *k*, au point *l* où les deux grands cercles des spheres voisines se coupent. Il suit de-là que le choc de ces rayons ne peut étendre l'effet de la mine au-delà des points d'intersection *t*, *r*.

La même démonstration pouvant s'appliquer à toute quantité égale de poudre, placée intermédiairement, ou au-delà des points *g*, *i*, indéfiniment suivant le prolongement de part et d'autre de la ligne *gi*, il en résulte qu'une masse contigue de poudre, étendue suivant cette longueur, ne fera d'effet perpendiculairement à *gi*, qu'en proportion de la largeur de cette masse, sans que sa longueur y ait aucune influence. C'est, en effet, ce

qui se remarque dans une traînée de poudre enflammée dont l'explosion ne paroît pas plus grande en largeur, quelle que soit sa longueur ; or, ce que l'on remarque dans l'air, s'opere nécessairement de même dans la terre, considérée comme un milieu homogène, puisqu'elle ne differe de tout autre milieu que par sa densité, dont la résistance est, comme celle de l'air ou de l'eau, par-tout en équilibre.

2°. Lorsque les efforts égaux de deux rayons diamétralement opposés *g h*, *h g*; *i h*, *h i*, se choquent aux points *y*, *z* où ils se rencontrent, ils doivent se détruire, et leur effet se borne à vaincre tous les obstacles qu'ils rencontrent sur la ligne *g i*. Les rayons *g v*, *i x*, qui sont dans le prolongement des premiers, agissent donc seuls de *g* vers *v*, et de *i* vers *x*, comme si le fourneau du centre n'existoit pas par rapport à cette action.

En ramenant cette théorie à son application (*fig.* 3.), il en résulte que si la charge *a c d b*, partagée en 4 cubes, est placée au-dessous de l'horizon, à une profondeur *g h*, telle que chacun de ses cubes soit susceptible de produire un entonnoir selon la charge de Vauban, les parties latérales *f i k l*, *e m n o*, qui expriment un tel effet produit par les cubes extrêmes, déterminent la figure de l'entonnoir en longueur, en les joignant par les lignes *e f*, *o l*; ensorte que la coupe verticale de l'effet de cette mine, et passant par la ligne des centres des cubes, seroit représentée par la figure *a m n o l k i f*, tandis que la coupe en largeur seroit représentée par cette même figure, diminuée du parallélogramme *o q p l*, dont la base est la distance des centres des cubes extrêmes, et dont la hauteur est la ligne de moindre résistance : ainsi le plan de l'entonnoir de cette espece de mine seroit représenté par la fig. 5.

3°. Il résulte de ce que nous venons de reconnoître

qu'une charge placée en longueur, forme toujours entre les points extrêmes une surcharge, dont différens effets partiels concourent à l'enlevement des mêmes parties de terrain : les espaces *l h r*, *o h n* (*fig.* 4.) sont les seuls dans lesquels la poudre intermédiaire aux points *g*, *i*, agit indépendamment de celle dont le centre d'activité est représenté par ces mêmes points ; mais il y a évidemment double emploi d'effort dans les espaces *g l h n*, *i r h o*.

38. Donc la même charge, placée à la même profondeur sous une figure plus concentrée, doit produire *en tous sens* un plus grand effet. Nous allons comparer ces résultats différens, dans une application.

Nous avons supposé (N°. 36.) le quart de la charge totale, de 256 liv. de poudre. Cette charge répond à une ligne de moindre résistance de 14 pieds, dans la table de Valiere.

La largeur de la mine dont nous venons de parler, prise à la surface du terrain, sera donc de 28 pi., et sa longueur *e f* sera $28^{pi.} + q\,p$: et comme $q\,p = a\,b - a\,c$, et que (N°. 36.) $a\,c = 1^{pi.}\ 7^{po.}\ 1^{lig.} = \frac{a\,b}{4}$, l'on aura $q\,p = 3\,a\,c = 5^{pi.}\ 9^{po.}\ 3^{lig.}$; conséquemment $e\,f = 33^{pi.}\ 9^{po.}\ 3^{lig.}$

Plaçons maintenant la même charge, sous la forme d'un cube *h*, à la même profondeur *g h*. La théorie développée (N^{os}. 26, 27, 28.) donne la figure *klmnoi* (*fig.* 6.). Pour avoir *g i*, rappelons-nous que c'est ici le cas de l'application de la formule $x = \sqrt[2]{\left[\left(\sqrt[3]{\left(\frac{(\sqrt[2]{2d^2})^3 \times a}{c}\right)}\right)^2 - b^2\right]}$, trouvée N°. 26, laquelle étant effectuée en nombres donne x ou $h\,i = \sqrt[2]{791} = 28^{pi.}\ 1^{po.}\ 6^{lig.}$; ainsi le diametre de la mine (*fig.* 6.), dans laquelle la charge est concentrée, est de $56^{pi.}\ 3^{po.}$, tandis que celui de la mine

dans laquelle elle est disposée en parallélipipede, n'est que de 33pi. 9po. 3lig., différence considérable à l'avantage de la premiere disposition.

36. Concluons de ce qui précede que la proposition que fait Bélidor de disposer les charges en longueur, pour faire en ce sens plus d'ouverture qu'en l'argeur, doit être rejetée, puisqu'il y a pénétration des spheres d'activité, choc dans l'inflammation, et conséquemment perte de force et de poudre. D'ailleurs il est sensible que, pour qu'une charge ainsi disposée pût produire l'effet le plus utile dont elle est susceptible, il faudroit qu'elle s'enflammât spontanément, dans un instant indivisible; car, comme il y a surcharge, si le centre s'enflammoit avant les extrémités, dès qu'il seroit assez fort pour soulever la masse de terre qui le couvre, il produiroit son effet, donneroit jour au fourneau, qui n'agiroit plus efficacement vers les extrémités du parallélipipede, soit que la poudre n'eût pas le tems de prendre feu avant d'être jetée hors de la mine, confondue avec les terres, soit que le feu ne lui arriveroit qu'au moment où cet effet se porteroit vers des points dégagés d'obstacles. Il faudroit donc que le feu parvînt en même tems au centre et au milieu des cubes des extrémités, et c'est peut-être ce qu'il est impossible d'obtenir dans la pratique. Enfin, si l'effet se produisoit plutôt aux extrémités qu'au centre, il seroit le même que celui de deux fourneaux séparés *gl*, *i* (*fig.* 4.); alors les espaces *l h r*, *n h o*, resteroient intacts, et toute la charge du centre seroit perdue.

---

(1) La partie *qr* = 5 pi. 9 po. 3 lig. (*fig.* 3.) est dessinée en proportions trop grandes par rapport à *g h* = 14 pieds; cette disposition a pour objet de rendre le parallélipipede *a c d b* plus sensible: il en est de même du cube *h* (*fig.* 6.) que j'ai proportionné aux dimensions du parallélipipede.

Cependant il est fort à désirer que l'expérience vienne encore prêter ses lumieres à la théorie sur cette proposition, pour confirmer ou modifier nos résultats, et fixer définitivement toutes les idées sur l'usage que l'on en peut faire.

40. Bélidor a fait des épreuves très intéressantes sur la distance à laquelle l'effet de la poudre peut se propager dans l'épaisseur des terres et renverser des constructions souterraines, même en laissant intact le solide du terrain qui sépare ces constructions de l'excavation de la mine qui en a produit la destruction. C'est l'étendue de cet effet, que l'auteur dont je parle appelle le globe de compression. Pour en prouver l'existence, voici la premiere épreuve qu'il fit, décrite par lui-même.

» L'on a fait quatre puits *F*, *E*, *D*, *C* (*fig.* 7.), aux » angles d'un quadrilatere formé par quatre galeries » *H*, *B*, *G*, *A*, de 60 sur 70 pieds de côté, qui alloient » d'un puits à l'autre. Le premier de ces puits avoit » 10 pieds de profondeur, le second 11, le troisieme » 12, le quatrième 13; ainsi ces galeries alloient en » pente douce, afin de ne pas se trouver dans un même » plan, par conséquent dans une même veine de terre: » elles avoient 3 pieds de large sur 4 et demi de hau- » teur, bien coffrées en bon bois de chêne, dans un ter- » rain que j'ai désigné par la premiere espece. Il y avoit » cela de particulier, qu'à dix pieds de profondeur l'on » a rencontré un banc de marne fort dure, et fort éten- » due en superficie et en profondeur.

» On a établi un fourneau *N* à dix pieds de ligne de » moindre résistance, moyennant un rameau à double » retour d'équerre *M*, *L*, *K*, *I*, *G*; partant de la galerie » *C D*; ce fourneau étoit placé de façon que le centre » se trouvoit éloigné de 25 pieds de la premiere galerie

» *CD*, de 30 de la seconde *DE*, de 35 de la troisieme » *EF*, et de 40 de la quatrieme *FC*: vis-à-vis du four» neau l'on est parti de la galerie *FC* pour conduire » un rameau *T* (*fig.* 8.) en rampe, dont le ciel *B* étoit » à 13 pieds au-dessous du centre *R*. Toutes choses ainsi » disposées, on a chargé ce fourneau de 1200 livres de » poudre, pour voir quel en seroit l'événement; car » on doutoit que les galeries pussent être crevées, sur» tout celle qui en étoit distante de 40 pieds: c'est » pourquoi on les avoit éloignées différemment, pour » voir jusqu'où s'étendroit le globe de compression dont » on devoit juger par les galeries crevées.

» Tout étant préparé de cette maniere, l'on a fait » jouer le fourneau, et l'on a remarqué que les terres » ont été enlevées environ à 80 pieds de hauteur; que » le diametre de l'entonnoir étoit de 45 pieds, et toutes » les galeries crevées sans exception, sur plus ou moins » d'étendue, à-peu-près dans la raison réciproque de » leur éloignement du fourneau, comme le montre la » figure 7: celle qui passoit sous le fourneau, et qui » étoit pratiquée dans la marne, a été aussi enfoncée » (*fig.* 9.), et les deux puits *D*, *E*, ont eu leurs chassis » rompus, sans qu'on pût descendre dans les bouts de » galeries adjaçentes, qu'après les avoir rétablis. Enfin » l'on peut dire que cette expérience est une preuve » la plus complette qu'on puisse désirer de la réalité du » globe de compression, *dont l'effet est de crever des » galeries jusqu'au quadruple de la ligne de moindre » résistance*, qui est le terme où je borne l'effet du » fourneau surchargé, non pas qu'il ne puisse s'étendre » plus loin; mais il est bon de s'en tenir là. »

Ici je demande à l'auteur pourquoi il borne ainsi cet effet, et pourquoi il est bon de s'en tenir là? Nous aurons occasion plus bas, de présenter quelques réflexions

sur cette matiere. Suivons encore un instant les expériences de Bélidor.

Il en fit une autre de ce genre à Bisy, dont voici les détails. « L'on pratiqua dans le terrain le plus uniforme
» que l'on put rencontrer, et qui se trouvoit un tuf sec
» mêlé de sable et de pierres, quatre galeries *A*, *B*,
» *C*, *D* (*fig.* 10, Pl. addit. II.) de 3 p. de largeur sur 6 de
» hauteur, qui se joignoient par leurs extrémités en for-
» mant un quarré long, dont les côtés répondoient à-peu-
» près aux quatre points cardinaux. Les deux galeries op-
» posées *A*, *B*, qui regardoient l'est et l'ouest, avoient
» chacune douze toises de longueur, et les deux autres
» 10 seulement, revêtues en maçonnerie, afin de mon-
» trer que cette maçonnerie loin d'être un obstacle aux
» effets de la poudre, ne pouvoit que les favoriser. Le
» rez-de-chaussée de ces galeries avoit ensemble 6 pieds
» 3 pouces de pente, et pour profondeur moyenne 15
» pieds au-dessous de la surface de la terre, qui alloit
» en glacis de 4 pieds du sud au nord, dans l'intervalle
» des deux galeries de ce nom. De celle de l'est *C*, l'on
» fit partir un rameau coudé à retour d'équerre pour
» placer un fourneau *E*, dont le centre répondît à 12
» pieds de ligne de moindre résistance; il étoit situé
» de maniere qu'il se trouvât éloigné de 24 pieds de la
» galerie précédente, de 30 de celle du sud, de 36 de
» celle de l'ouest, et de 42 de celle du nord. On fit les
» autres galeries, moyennant les facilités que don-
» noient deux puits: l'un *M*, du côté du Sud, avoit
» seize pieds de profondeur; et l'autre *I*, du côté du
» Nord en avoit vingt.

» Lorsque les galeries furent achevées, on continua
» de creuser le dernier puits de 9 pieds de plus qu'il
» n'avoit en premier lieu, afin que le fond *Y* (*fig.* 11.)
» se trouvât de 29 pieds au-dessous de la surface du
terrain.

» terrain, à l'endroit du fourneau; ensuite on perça une » galerie, allant passer directement dessous le fourneau: » elle avoit 18 pouces de pente, et 5 pieds de hauteur. » Par là le ciel se trouvoit précisément de 14 pi. au-des- » sous du foyer, ou centre du fourneau *E*; le tout bien » solidement coffré en bon bois de chêne, toujours dans » la même espece de terrain de tuf, si dur que les mi- » neurs ne pouvoient le percer sans le secours du ciseau. » Telles étoient les dispositions faites pour ce qui ap- » partient au globe de compression, dont l'objet étoit » de voir s'il creveroit toutes les galeries.

» Comme il ne paroissoit pas naturel qu'un fourneau » de mine dont l'effet devoit se faire du côté le plus » foible, dût crever des galeries qui en seroient éloignées » jusqu'au quadruple de la ligne de moindre résistance, » il n'est pas surprenant qu'on en ait douté; quoique » l'expérience faite en 1732, à la Fere, eût dû ne plus » laisser de doute sur cet article, et que le fait fut » établi sur la théorie précédente: *cependant les gens » du métier n'ont point tenu compte de cette expérience*, » parce qu'ils prétendirent que la poudre s'étoit fait » jour, pour crever les galeries, entre les terres et un » banc de marne. On sentoit qu'en admettant cette » théorie, il falloit nécessairement se désabuser des » principes qu'on avoit adoptés jusqu'alors.

» L'on mit le feu au fourneau du globe de compres- » sion, qui avoit été chargé la veille de 3000 livres de » poudre. Il fit une gerbe de terre d'environ 150 pieds » de hauteur, il avoit formé un entonnoir parfaitement » rond, de 66 pieds de diametre et de 17 de profondeur.

» La galerie de maçonnerie *D*, répondant à l'est, éloi- » gnée de 24 pieds du fourneau, fut crevée sur toute » sa longueur. La galerie *A*, de 10 toises, regardant le » sud, et qui étoit éloignée de 30 pieds du fourneau,

» fut également crevée sur toute sa longueur, excepté
» deux toises par son entrée du côté de l'ouest.

» La galerie *C*, de l'ouest, de 12 toises, éloignée de
» 36 pieds du centre du fourneau, fut détruite en même
» tems sur la longueur de 7 toises, en étant resté un
» bout de 3 toises vers son entrée du nord, et un autre
» de 2 toises vers son entrée du sud.

» La galerie *B*, du nord, qui avoit 10 toises, éloignée
» de 42 pieds du même fourneau, fut crevée sur toute
» sa longueur, excepté 2 toises à son entrée vers l'ouest;
» ainsi il y en avoit 8 d'impraticables, lesquelles se sont
» trouvé divisées en deux également par la perpendi-
» culaire de 42 pieds abaissée du centre du fourneau
» sur la même galerie. Comme cette ligne formoit un
» triangle rectangle avec la partie de 24 pieds qui re-
» gardoit le puits, ce qui donne une hypothénuse de 48
» pieds, qui est en même tems la distance où s'est étendu
» le globe de compression, l'on voit qu'il eût crevé une
» galerie qui se fût trouvée à 48 pieds du centre du
» fourneau, par conséquent au quadruple de la ligne de
» moindre résistance, et même plus loin, si l'impulsion
» de ce globe avoit agi selon des directions perpendi-
» culaires, au lieu d'obliques qu'elles étoient à cette
» extrémité.

» La galerie *YZF* (*fig.* 12.), qui passoit sous le four-
» neau, et dont le ciel en étoit éloigné de 14 pi., avoit 11
» toises 3 pieds : l'on n'a pu entrer dans cette galerie que
» sur la longueur *YZ*, de 4 toises ; ainsi le reste, de 7
» toises 3 pieds, s'es trouvé entièrement crevé. Comme
» l'extrémité de la premiere passoit de 9 pieds le centre
» du fourneau, l'on voit qu'il restoit 10 toises, depuis
» le milieu jusqu'à l'entrée de la même galerie, où s'en
» étant trouvé quatre d'entieres, il en est resté six de
» crevées de cette part ; les prenant pour base du

» triangle rectangle *EFZ*, formé par la perpendicu-
» laire *EF*, de 14 pieds, abaissée du centre du four-
» neau, et qui auroit pour hypothénuse la distance du
» même centre à l'extrémité de la partie crevée du
« puits; on trouvera par le calcul que cette hypothénuse,
» ou le rayon *EZ* du globe de compression, étoit de
» 38 pieds : ainsi il eût crevé une galerie dont le ciel
» se fût trouvé à cette profondeur au-dessous du foyer,
» par conséquent à 50 pieds au-dessous de la surface de
» la terre, qui est la plus grande profondeur où l'on
» puisse jamais établir des galeries. Ce sont là des faits
» encore existans, et dont on pourra juger sur les
« lieux même. »

Les expériences de Bélidor firent d'autant plus de bruit, que le célebre Valiere et d'autres mineurs n'avoient pas voulu y croire. Elles furent encore vérifiées à Berlin sous les yeux de Fréderic II roi de Prusse, par l'ingénieur le Fevre. Comme cet officier opéra dans le sable, il crut avec raison, devoir augmenter sa ligne de moindre résistance, afin que les effets dans les autres sens fussent complets, ainsi il porta cette ligne à 15 pieds de longueur. Il ne construisit que trois galeries, aux distances respectives du centre du fourneau, de 24, 32 et 42 pieds. Il y avoit en outre une galerie à 56 pieds sous terre, et dont le ciel étoit à 16 pieds sous les poudres. Toutes ces galeries avoient 5 pieds de hauteur sur 3 de largeur dans œuvre : elles étoient coffrées en bon bois de chêne. A 30 pieds du fourneau principal, il en fut établi un second plus petit, à la même profondeur. Le grand fourneau fut chargé de 3000 livres de poudre. Suivant les résultats de Bélidor, qui, pour des surcharges destinées à renverser les travaux souterrains, établit en principe qu'il faut multiplier la ligne de moindre résistance par trois, et prendre autant de quintaux de poudre, il en

eût fallut 4500. Cette charge eût, toujours suivant la même hypothese, produit une excavation de 90 pieds de diametre, et eût crevé les galeries à la distance de 60 pieds, tandis que la charge de le Fevre n'en produisit qu'un de 66 pieds, et que ses galeries ne furent crevées qu'à la distance de 48 et de 52. La profondeur de son excavation fut de 18 pieds pour une ligne de moindre résistance de 15 pieds dans un terrain de sable, tandis que la derniere de Bélidor, fut de 17 pieds pour une ligne de moindre résistance de 12 pieds seulement, dans un terrain beaucoup plus solide.

Les résultats des épreuves de Berlin sont confirmés par le témoignage du roi de Prusse lui-même, qui en donne les détails à Bélidor dans une lettre qu'il a adressée à cet auteur, en lui marquant son estime pour la découverte dont il venoit de reconnoître l'utilité.

Il paroît donc bien démontré que l'effet du globe de compression est réel, quoique des hommes de l'art, des officiers de grande réputation même, l'aient contesté et le contestent encore. Quand des faits ne prononceroient pas contre eux dans cette question, il nous semble que le simple principe de la propagation du mouvement, auroit pu leur démontrer leur erreur. La poudre d'un fourneau fortement chargé, et agissant avec violence contre les terres qui lui résistent et forment les parois de l'entonnoir, doit nécessairement comprimer ces terres, et tendre à les mettre en mouvement dans le sens des différens rayons de sa sphere d'activité : cette disposition reçue et communiquée de près en près, ne peut être anéantie que par une succession de résistances des parties qui s'appuient réciproquement en sens contraire. S'il arrive donc que, dans l'épaisseur des terres nécessaires pour que ces résistances successives constituent une résistance totale égale à la force de

l'action, il se trouve un vuide, tel qu'une galerie, qui ne fournit pas son complément à l'action contraire, il est évident que les molécules de terres intermédiaires au centre d'où part l'action et à ce vuide, doivent être poussées dans ce vuide, qui détermine évidemment en ce sens, une ligne souterraine de moindre résistance. Ainsi la destruction des galeries s'explique d'une maniere très naturelle, par les simples lois de l'équilibre.

Mais demandera-t-on, est-il assez solidement déterminé jusqu'à quelle distance, et suivant quels rapports cet effet se propage, pour établir sur ces données une théorie lumineuse, solide, en un mot, sur laquelle on puisse compter, et fonder des opérations dans l'attaque et la défense des places. Quant à moi je ne le pense pas. La matiere est trop importante pour ne la pas confier encore à quelques expériences faites avec de plus grands soins et plus attentivement examinées encore, s'il est possible. L'on ne peut imprudemment mettre en balance l'économie de quelques légers frais, avec les lumieres précieuses qui peuvent en dédommager : je pense donc que tout ce qui a rapport à ce phénomene, doit être compris dans la série des questions que j'ai déja proposé de soumettre à la même vérification. Quelques réflexions fournies par les épreuves qui justifient l'existence du globe de compression, viennent à l'appui de mon opinion.

En effet, dans l'épreuve de Berlin, l'on voit un petit fourneau, placé à la même profondeur que le grand, seulement éloigné de lui de 30 pieds, et toute l'organisation de cette mine est conservée tellement intacte qu'on peut y mettre le feu, que ce feu se communique par un fragile saucisson qui eût dû être comprimé, anéanti, par un effort qui creve des galeries solides jusqu'à 52 pieds de distance. Comment concilier cette

conservation avec un mouvement destructif si prodigieux? Ce n'est pas tout, suivons un instant les globes de compression du siege de Schweidnitz, nous y reconnoîtrons la répétition de cet effet.

Au siege de cette place, le premier globe de compression, chargé de 5000 livres de poudre, et qui produisit un entonnoir de 16 à 17 pieds de profondeur sur 80 de diametre, laissa subsister à côté de ce même entonnoir, la galerie de l'assiégé qui, dès le lendemain, y put diriger un camouflet qui ne laissa à l'assiégeant que 6 ou 7 pieds de la galerie par laquelle il cherchoit à déboucher du fond de l'excavation, pour pousser ses travaux en avant. Dira-t-on que cette galerie se trouvoit à un éloignement plus grand que le quadruple de la ligne de moindre résistance, éloignement qui eut été au moins de 50 pieds? c'est ce que la promptitude de l'effet du camouflet ne permet pas de supposer. D'ailleurs le journal de ce siege dit positivement qu'elle étoit *très peu éloignée du bord de l'entonnoir*.

Le deuxieme globe, chargé de 2400 livres de poudre, produisit un entonnoir de 15 pieds de profondeur et de 60 de diametre : il eut le même sort que le premier, il respecta une galerie voisine à l'aide de laquelle l'assiégé souffla un nouveau camouflet qui combla encore la galerie de cheminement commencée par l'assiégeant, et lui tua ses mineurs. Mais ce qui frappe le plus, c'est que ce camouflet fut suivi dans le même entonnoir, d'un second, puis d'un troisieme, après d'un quatrieme, enfin d'un cinquieme, sans que les Prussiens, dirigés dans ce travail par le Fevre lui-même, pussent en prévenir aucun. Alors il fallut prendre une marche très circonspecte et compter moins sur la destruction souterraine des globes.

Le troisieme globe, chargé de 3600 livres de poudre, fit une excavation de 16 pieds de profondeur sur 60 de

diametre. Il reçut à son tour un camouflet, qui renversa encore la galerie commençée par les mineurs prussiens. Il est très remarquable que les Autrichiens purent, presque aussitôt après, profiter tellement de leurs mines, qu'ils en firent jouer une qui combla le passage d'un entonnoir à l'autre, qu'ils firent en même tems une sortie qui détruisit cette communication et tous les travaux des mineurs au point qu'ils furent abandonnés; ce qui indique que les globes de compression voisins n'avoient point agi souterrainement dans la masse très peu considérable de terre qui les séparoit.

Le 4^{e}. globe de compression, chargé de 5000 liv. de poudre, fit une breche à la contrescarpe du fort attaqué. Ce fut le moment où les Autrichiens se déterminerent à capituler, sans doute parce que le corps de place étant mal tracé, ne leur laissoit que peu de moyens d'éviter l'attachement du mineur à l'escarpe. On pourroit cependant penser qu'ils eussent encore long-tems contrarié l'établissement d'une breche propre à faire craindre le succès d'un assaut, s'ils eussent prolongé, à l'aide de leurs galeries, qui passoient sous leur fossé, la chicane de mineur à mineur.

Quoi qu'il en soit, ces faits sont trop certains pour ne pas mériter attention. Ils semblent même avoir été appréciés par le Fevre; car, quoique cet officier, qui se plaisoit sans doute dans les résultats de ses expériences de Berlin, cite les globes de compression de Schweidnitz comme ayant produit de bons effets, il est à remarquer qu'il qualifie ces effets d'*assez* avantageux, ce qui semble indiquer qu'ils n'ont pas répondu à son attente autant que ses premieres épreuves le lui avoient fait espérer. Cette idée est confirmée par le silence dans lequel il nous laisse sur l'état des galeries de contre-mines qu'il a sûrement visitées avec une attention particuliere après la

reddition de la place, pour se rendre compte du véritable effet de ses globes.

41. L'on a fait quelques expériences sur l'étendue de la sphere d'inflammation de la poudre. Voici en quoi elles consistoient. Après avoir placé en un point pris sur sur l'horizon, une quantité quelconque de cette matiere, puis formé une traînée de poudre exactement circulaire autour de ce point, l'on a mis le feu à celle du centre, pour connoître la distance extrême à laquelle l'inflammation se communiquoit à la circonférence, en donnant à celle-ci successivement différens rayons; l'on a cru pouvoir conclure des résultats soumis à ces épreuves réitérées sur différentes masses, que le rayon du globe de poudre placé au centre, est constamment au rayon d'inflammation comme 1 : $19\frac{1}{2}$, ou comme 2 à 39.

En supposant ces épreuves bien constatées, j'ai pensé qu'il seroit utile de comparer le rayon d'inflammation à celui de la sphere d'activité, parce qu'il pouvoit en résulter beaucoup plus de simplicité dans le calcul de l'effet des mines surchargées, qu'il est si intéressant de bien connoître. D'après cela j'ai porté mon examen sur la table des charges de Valiere (l'exactitude de celles de Vauban étant évidemment altérée), et considérant qu'*une sphere est au cube de son diametre comme* 157 *est à* 300, j'ai cherché à connoître les rayons de différentes charges considérées comme formant des spheres. Par exemple, prenant la charge de 257 liv. de poudre, qui répond dans la table de Valiere à 14 pieds de ligne de moindre résistance, et considérant que 257 liv. de poudre divisées par 64 liv., qui forment un pied cube de cette matiere, donnent à-peu-près 4 pieds cubes pour cette charge, j'ai fait cette proportion :

$$157 : 300 :: 4^{\text{pi.}} : x = 7^{\text{pi.}}\ 7^{\text{po.}}\ 8^{\text{lig.}}$$

dont le 4e terme est le cube du diametre de la sphere

qui contient 4 pi. cubes ou 256 liv. de poudre. Tirant la racine quarrée de 7$^{pi.}$ 7$^{po.}$ 8$^{lig.}$: cette racine, qui est 1$^{pi.}$ 11$^{po.}$ 8$^{lig.}$ à-peu-près, est le diametre que je cherche, dont la moitié est 11$^{pi.}$ 10$^{lig.}$ En multipliant donc cette longueur par 19 $\frac{1}{2}$, j'ai trouvé 19$^{pi.}$ 2$^{po.}$ 9$^{lig.}$ pour le rayon d'inflammation de 256 liv. de charge.

Cette charge répondant à 14 pi. de ligne de moindre résistance, j'ai fait le quarré de cette ligne, et je l'ai multiplié par 2 pour avoir celui du quarré du rayon de la sphere d'activité, attendu que la table de Valiere donne des charges dont l'effet est de former le rayon supérieur de l'entonnoir égal à la ligne de moindre résistance; puis ayant extrait la racine quarrée du résultat 392, j'ai reconnu que ce rayon étoit de 19$^{pi.}$ 9$^{po.}$ 8$^{lig.}$ conséquemment à 6 po. 11 lig. près. le même que celui d'inflammation qui étoit de 19$^{pi.}$ 2$^{po.}$ 9$^{lig.}$

Si, au lieu de multiplier celui de la charge par 19 $\frac{1}{2}$, je l'eusse multiplié par 20, le résultat eût été de 19$^{pi.}$ 8$^{po.}$ 8$^{lig.}$, quantité égale, à un pouce près, au rayon 19$^{pi.}$ 9$^{po.}$ 8$^{lig.}$ d'activité.

Les mêmes calculs appliqués à une charge de 1024 liv. ou 16 pi. cubes de poudre, qui répond à-peu-près à 22 pi. de ligne de moindre résistance dans la même table, donne pour rayon de la charge, 1$^{pi.}$ 6$^{po.}$ 9$^{lig.}$ lequel multiplié par 19 $\frac{1}{2}$ donne 30$^{pi.}$ 5$^{po.}$ 7$^{lig.}$ pour celui d'inflammation, tandis qu'on trouve que celui d'activité est de 31$^{pi.}$ 1$^{po.}$ 4$^{lig.}$ et ne differe conséquemment du premier que de 7$^{po.}$ 9$^{lig.}$

Cette différence, à 10 lig. près la même que la précédente trouvée pour la charge de 257 liv. de poudre, se fût réduite à 1$^{po.}$ 8$^{lig.}$ en multipliant le rayon de la charge par 20 au lieu de 19.

Le rayon suivant lequel la poudre agit dans le terrain auquel Valiere a appliqué les charges de sa table,

est donc constamment à celui de la masse d'une charge déterminée, à-peu-près comme 20 est à 1, et les rayons d'activité et d'inflammation ne different que de $\frac{1}{39}$, quantité insensible par rapport à l'effet produit à la surface du terrain.

42. *Donc, pour avoir le rayon de l'effet d'une surcharge quelconque dans un terrain semblable, il ne s'agit que de trouver* (comme nous l'avons fait N°. 41.) *celui de la sphere d'un volume égal à cette charge, et de le multiplier par le nombre 20; retranchant ensuite du quarré de ce produit, celui de la ligne de moindre résistance, l'on aura celui du rayon de l'effet de la mine sur l'horizon, quarré dont il ne s'agira que d'extraire la racine.*

43. L'on voit que cette formule est indépendante des dimensions et de la charge de toute autre mine.

L'on voit encore qu'en substituant au troisieme terme de la formule, $157 : 300 :: 4^{pi.} : x$, la charge même qui est 64×4, ou 256, l'on trouvera pour x, un nombre qu'il ne s'agira que de diviser par 64 pour avoir le cube du rayon que l'on cherche, ce qui est plus commode dans les calculs.

44. Nous avons vu que, pour obtenir les mêmes dimensions dans l'effet des mines pratiquées dans des terrains plus pesans et plus tenaces, il faut augmenter la charge, conséquemment son rayon, d'où il résulte que le rapport de ce rayon avec celui de l'effet, n'est pas constant dans les différentes natures de terrain, mais seulement dans les terres de même espece. Nous donnerons ailleurs les différens rapports de ces dimensions pour les cinq especes de terres distinguées par Vauban. Nous eussions déja donné trop de longueur à l'analyse des effets de la poudre dans les mines, s'il n'étoit pas vrai de dire que le mineur a besoin de combiner et de manier ses

charges avec la même attention, la même dextérité, que le canonnier et le bombardier pour atteindre le but qu'ils se proposent. Indépendamment de ce grand usage, il est important de parvenir dans l'emploi de la poudre, à cette économie de laquelle dépend souvent la prolongation d'une défense lorsque le mineur en sait multiplier les effets pour les rendre plus imposans avec des moyens bornés.

CHAPITRE II.

Du creusement des puits, galeries et rameaux des mines; et de la maniere de les coffrer, charger, étrésillonner, etc.

DES FOUGASSES.

44. Pour passer ici du simple au composé, nous supposons qu'il ne s'agit que d'une fougasse de 12 pi. de moindre résistance (*fig.* 13, 14, 15 de la Planche additionelle II.); et, sans rien déterminer encore sur les principes relatifs à l'emplacement des mines quelconques, ni des contre-mines, nous supposons aussi que dans l'effet de cette fougasse, il s'agit de ménager un objet utile à celui qui en fait usage, tel que seroit, par exemple, la crête d'un chemin couvert.

Cela posé, l'on est dans l'usage d'ajouter à la ligne de moindre résistance quelques pieds, pour former de cette addition la distance à laquelle il faut tenir le fourneau de la mine, de l'objet que l'on veut ménager. Quelques expériences faites à Strasbourg, ont déterminé cette distance à une fois et demie la ligne de moindre résistance; mais alors on ne supposoit pas que le rayon de l'en-

tonnoir sur l'horizon fût lui-même plus grand que cette ligne, et l'on n'étoit pas dans l'usage d'employer les mines surchargées, ou les globes de compression de Bélidor.

La regle doit donc être différente pour ce dernier cas, où il convient d'ajouter au rayon de l'entonnoir sur la surface du terrain, calculé d'avance comme nous l'avons fait, N°. 36, la moitié de la ligne de moindre résistance.

Observons d'ailleurs que, dans tous les cas, l'éloignement d'un fourneau à l'objet que son effet doit respecter, ne doit pas être moindre que le rayon d'activité de sa charge.

Cette distance ainsi déterminée, tracez sur le terrain un quarré de 3 pi. 2 po. de côté, dont un mineur creuse la surface en s'enfonçant verticalement, c'est-à-dire sans former de talus. L'un des côtés de ce puits doit être parallele à la crête de glacis à laquelle la mine ne doit pas toucher, et les autres sont pris au-delà de la distance prescrite.

Il faut avoir préparé d'avance un certain nombre de planches de 3 pi. 2 po. de longueur, de 18 po. ou 2 pi. de largeur et de 12 ou 15 lig. d'épaisseur, aux extrémités desquelles doit être une entaille égale à cette épaisseur, et faite sur moitié de la largeur des planches. Le mineur étant arrivé à 2 pi. de profondeur, place sur chacune des faces latérales du puits, une de ces planches, de maniere que les entailles de celles qui se touchent dans les coins du puits, tombent l'une sur l'autre, et que les quatre planches placées sur les quatre faces forment un chassis *C* (*fig.* 13.), dont l'objet est de soutenir les terres pour les empêcher de combler le puits.

Le premier chassis étant établi, le mineur s'enfonce encore de 2 pieds, puis il en place un autre dessous le premier, qu'il a soutenu dans sa position par des piquets enfoncés dans les faces du puits; au second chassis il en

fait succéder un troisieme, et ainsi de suite plusieurs autres, à mesure qu'il s'enfonce, jusqu'à ce qu'il soit parvenu à la profondeur à laquelle il veut placer la chambre du fourneau de la fougasse.

Dans les terres fortes, au lieu de serrer les chassis l'un sur l'autre, ainsi qu'on les voit au profil, *fig.* 14, on épargne quelque travail en laissant entre eux un vuide de 2 pieds.

Si l'on creusoit dans le tuf ou le roc, on n'auroit point besoin de chassis.

Pendant que le mineur creuse son puits, il doit attentivement examiner la qualité des terres qu'il rencontre, afin d'en bien déterminer la charge d'après les principes que nous avons posés. Pour peu que la fougasse soit profonde, il rencontre ordinairement plusieurs bancs qui different essentiellement dans leur espece. Dans ce cas, il faut qu'il calcule sa charge de maniere à ce qu'elle soit moyenne proportionnelle entre toutes celles qui conviendroient séparément à chaque nature de terrain, si elle étoit la seule qui formât l'extraction du puits.

La véritable charge étant ainsi connue, et le mineur connoissant conséquemment aussi le côté du cube qui la contiendroit, et les dimensions de la boîte, ce sera le moment d'en préparer la chambre. Cette chambre se creuse comme on la voit en *C*, *fig.* 14, sur l'un des côtés du puits, au niveau du fond, ou ce qui vaut mieux encore, quand on n'a pas un amas d'eau à craindre dans cette partie, de 3 ou 4 pouces au-dessous de ce fond. Les côtés de la chambre doivent excéder en longueur et en hauteur ceux de la boîte à poudre *d*, *fig.* 13, afin que l'on en puisse suffisamment garnir le pourtour pour la garantir de l'humidité.

Tandis que le mineur acheve ainsi de préparer la

de la boîte, si elle n'a pas été préparée d'avance. Il la tapisse en outre d'une natte de jonc ou de paille tressée, puis il la charge et la descend dans le puits, à moins que la charge soit trop forte, auquel cas la poudre et la boîte sont livrées séparément au mineur, qui dispose lui-même cet objet.

Ce cas ne peut être que celui d'une surcharge destinée à former un globe de compression. Alors une ligne de moindre résistance de 12 pieds, (la plus grande des mines que l'on a nommées fougasses,) exige une charge de 3600 livres de poudre, si l'on suit à cet égard les proportions de Bélidor, qui multiplie la ligne de moindre résistance par 300 pour produire un pareil effet. Ce poids exigeroit une très grande boîte, qu'il faut préparer comme les châssis du puits, c'est-à-dire, par panneaux détachés que le mineur n'assemble dans le fourneau qu'au moment du besoin, en joignant ces pieces l'une à l'autre, et au fond de la boîte, par des chevilles de bois ou des clous.

Il faut avoir ménagé sur le milieu *c* de l'une des faces de la boîte à poudre, et immédiatement au-dessus de son fond, une ouverture quarrée de 18 lignes en tous sens, par laquelle le mineur fait passer, avant de la remplir, un petit canal de bois ou de fer-blanc recourbé d'un pouce de diametre pris dans le vuide, dont une extrémité aboutit au centre de la charge, et dont l'autre conserve extérieurement une saillie de 2 pouces.

La courbure du canal n'est point essentielle. Elle n'a pour objet que l'avantage de pouvoir fixer plus invariablement l'une de ses branches en *d*, contre le fond du mine (1), un ouvrier poisse intérieurement les joints

(1) Je répete ici des détails contenus dans mon Traité de la guerre des retranchemens, parce que l'on ne peut rien dire d'autre sur cette matiere.

puits ; et l'on conserve cette facilité quand l'on enfonce la boîte à poudre de la moitié de sa hauteur sous le fond du puits : alors un canal d'une seule branche droite, peut également aboutir au centre de la charge. Si le trou du canal, étoit percé vis-à-vis du centre de la boîte, ainsi qu'il le faudroit dans la position que je viens de dire, il est clair qu'en terminant le saucisson à ce point, un canal droit suffiroit encore pour la communication du feu au milieu de la charge ; il y auroit seulement quelques précautions à prendre pour que ce canal ne vacillât pas dans sa position.

Comme ce canal doit s'adapter au bout du saucisson, il est bon que son extrémité extérieure ait un rebord, afin que la ligature en puisse être assez solide pour empêcher le saucisson d'échapper.

Lorsque la boîte est placée et chargée, on y met le couvercle, mais sans l'attacher, afin de déterminer d'autant plus l'effort vers la ligne où l'on veut le porter. Dans cette situation, le côté qui porte le petit conduit doit se trouver dans le même plan vertical que la face du puits sur laquelle on a établi le fourneau : ce procédé suppose que la partie inférieure du puits n'est point encore garnie de son chassis au moment où le mineur place la boîte.

Pour remplir le vuide qui reste entre les côtés de la boîte et ceux du fourneau, l'on se sert de paille, d'étoupes, de bourre, ou d'autres matieres semblables et bien seches, que l'on bourre le plus fortement possible, sans rien mettre au-dessus du couvercle. Enfin le mineur place son dernier chassis, auquel il a pratiqué une ouverture disposée de façon à recevoir la saillie du canal, qui n'avance plus alors que d'un pouce dans le puits, son coffrage étant fait de planches d'un pouce d'épaisseur.

Les fourneaux établis au fond des puits, exigent une rigole *cg* pour le placement de l'auget, *fig.* 6.

Cette fosse prend naissance au milieu *a*, de la partie supérieure de la face du puits sur laquelle le fourneau se trouve placé, et aboutit au foyer *f*, ordinairement pris à 10 ou 12 pieds du talus de la banquette de l'ouvrage dont la fougasse défend l'approche. Quant à la profondeur de la tranchée, elle dépend des accidens dont il faut garantir le saucisson. A-t-on la chute des bombes à redouter, il faut établir l'auget à 5 pieds sous terre; mais dans le cas contraire, il suffit de l'enfoncer de 2 pieds ou de 30 pouces, ainsi qu'on le voit dans les figures 16 et 17, en avant d'un ouvrage non revêtu. L'on voit dans la premiere de ces figures que l'auget est enterré sous le fossé : la figure 17 annonce qu'il est des cas pressés où l'on peut le faire passer à découvert de la contrescarpe à l'escarpe; mais cette méthode expose à des accidens et demande une grande précision pour saisir l'instant où il convient de mettre le feu à la mine, car lorsque l'ennemi est placé sur cette mine en *a*, il faut lui en faire éprouver l'effet avant qu'il ait eu le tems de s'élancer jusqu'en *d* pour rompre le saucisson, ce qui met son effet dans la dépendance d'un véritable tour d'adresse. Cette construction peut encore être découverte et détruite de loin par l'ennemi, en même tems qu'elle gêne les feux des flancs, et que ces feux peuvent eux-mêmes accidentellement la rompre ou mettre le feu au saucisson.

Quoi qu'il en soit de cette méthode, elle exige que l'auget soit porté sur des petits chevalets, ou des montans *h*, *i*, *k*, qui en assurent la position.

Le déblai des terres du puits d'une fougasse se fait avec des paniers ou des tinnes, attachés à des cordes qui tournent autour de l'axe d'un petit treuil à manivelle

que

que les mineurs appellent un bouriquet. Le bouriquet est placé au-dessus du puits, un peu de côté, afin de ne point empêcher le mineur de monter et de descendre soit à l'aide d'une échelle ou de simples chevilles disposées en échelons sur l'une de ses faces.

Lorsque la fougasse est peu profonde, l'extraction des terres n'exige pas le secours d'un bouriquet : elle peut se faire à bras d'homme.

Dès que la fosse de l'auget est déblayée, il faut adapter le saucisson à la fougasse. Ce saucisson doit avoir été bien rempli de poudre, c'est-à-dire en contenir à-peu-près une livre par pied de longueur. L'auget doit avoir été goudronné sur ses joints intérieurement comme en dehors. L'on commence par en placer une partie au-dessus de l'extrémité saillante *d*, *fig.* 14, du conduit de la boîte à poudre. Cette partie monte latéralement jusqu'au niveau *e* du fond de la rigole, et doit avoir conséquemment 2 pieds de longueur de moins que le puits n'a de profondeur. Dans cette position, qui est verticale, l'on cloue le fond de l'auget, de distance en distance, sur les chassis ou le coffrage du puits. Après cette premiere opération, l'on place dans la fosse la seconde partie de l'auget, en faisant les retours indiqués par les figures 16 et 17. Enfin, il faut garnir l'auget, de terre battue et bourrée en dessous et sur les côtés, afin de bien remplir tous les vuides qui pourroient favoriser l'ébranlement de ce conduit.

L'auget en état de recevoir le saucisson, le mineur introduit la partie saillante du petit canal de la charge dans le bout de ce rouleau, et après s'être assuré que la poudre qui remplit le canal touche à celle qui remplit le saucisson et se confond avec elle, il fait sa ligature solidement avec de la ficelle, puis il étend le saucisson dans l'auget en le chevillant de pied en pied

sur le fond dudit auget; enfin il en place le couvercle, qu'il cheville également de distance en distance.

Quand on en a le tems, l'on fait bien de goudronner extérieurement les joints du couvercle, mais dans le cas contraire on peut se contenter de le couvrir de paille.

Il ne reste plus qu'à refermer la rigole, à étrésillonner la mine et à boucher le puits.

La premiere de ces opérations ne demande aucun détail; et voici en quoi consistent les deux autres.

A partir du fond du puits, l'on établit verticalement sur la face qui contient le fourneau, et sur les deux côtés de l'auget, un rang *d* (1), de madriers de 2 pouces et demi d'épaisseur, et environ 4 pieds de hauteur; puis on recouvre ce premier rang d'un autre rang de madriers placés horizontalement. Contre ce dernier rang, l'on appuie 3 ou 4 pieds-droits *a* ou pieces de bois de 5 à 6 pouces d'équarrissage, et de même hauteur que les madriers. Une disposition toute semblable se fait en *f*, sur la face opposée du puits; enfin l'on place les étrésillons.

L'on nomme ainsi des arcboutans de bois *b*, de 3 ou 4 pouces d'équarrissage, que le mineur engage horizontalement entre les pieds-droits opposés des deux faces du puits, afin de serrer fortement les madriers qui bouchent l'entrée du fourneau. Les étrésillons d'une fougasse dont le puits a 3 pieds de côté, et dont les pieds-droits sont de 5 pouces, doivent avoir 15 pouces de longueur. Il faut les enchasser avec violence; il est même nécessaire d'introduire entre leurs extrémités et les pieds-droits, des coins *e*, dont les efforts fassent joindre de plus en plus les parties du systême entre elles. L'on doit introduire entre deux pieds-droits, deux ou trois rangs d'étrésillons l'un au-dessus de l'autre.

---

(1) Le rang *d* est caché au profil, *fig.* 14, derriere la coupe de l'auget.

Il est évident que le seul objet de l'étrésillonnage est d'empêcher la mine de s'échapper avec trop de facilité par le puits, qui, rempli de terre fraîchement remuée, oppose nécessairement à la poudre moins de résistance que les autres parties qu'elle doit diviser et enlever en même tems. Cet objet oblige donc de porter beaucoup d'attention au comblement du puits; il exige que les terres en soient refoulées à chaque lit de 6 ou 8 pouces d'épaisseur, avec tous les moyens que l'on peut employer à cet effet.

Quand la mine est très à portée du retranchement, il est prudent d'extraire les pierres qui peuvent se trouver dans les terres de comblement : c'est diminuer le nombre de celles dont on peut avoir quelques atteintes à redouter par leur chûte.

Du comblement du puits et de la rigole de l'auget, le mineur passe à la préparation du foyer. La longueur de l'auget doit à ce point excéder de 6 ou 8 pouces celle du saucisson, afin que celui-ci ne pose pas à terre (1). Sur cette partie excédente de l'auget (laquelle doit avoir un couvercle particulier et séparé de celui du reste de ce conduit), il fait une traînée de poudre qu'il joint à la charge du saucisson, dont le bout est ouvert, puis il place à l'autre extrémité de la traînée une fusée lente, qu'il fait avec du pulvérin amalgamé avec de l'eau, séché à l'air, puis formé en petit cône de 2 pouces à-peu-près de hauteur. Avant de placer sa fusée, le mineur couvre la poudre d'un morceau de papier au milieu duquel il a coupé un trou de la grosseur de sa fusée, et c'est sur ce trou qu'il fixe celle-ci

---

(1) Nous répéterons quelquefois des détails déja donnés par Vauban, mais cela nous a paru nécessaire pour ne pas interrompre la suite des opérations, et éviter de donner une théorie trop décousue.

en s'assurant qu'elle touche bien à la traînée. L'on devine que l'objet de cette précaution est d'empêcher le saucisson de prendre feu avant que la fusée soit consommée, en le garantissant de la chûte des étincelles qui jaillissent circulairement autour d'elle, événement qui pourroit être dangereux pour celui qui met le feu à la mine.

Tout étant disposé comme nous l'avons dit, il faut couvrir l'extrémité de l'auget de son couvercle séparé, que l'on n'en retire ensuite qu'au moment où il y a ordre de mettre le feu à la fougasse.

Tels sont les soins qu'il faut donner à la construction des fougasses, quand les circonstances ne s'y opposent pas; mais on peut en retrancher quelque chose quand on est pressé, et que les moyens manquent. En ce cas on peut suppléer l'auget par une enveloppe de paille; l'on peut remplacer la boîte à poudre par un sac, par un baril, en un mot, par tout ce qui peut contenir la même charge: l'étrésillonnage se fait aussi avec moins de précautions si l'on n'est pas à portée d'avoir des madriers. Mais dans la guerre des sieges, l'on pourvoit d'avance à tout, et l'on donne aux constructions de cette espece tout le tems nécessaire pour faire produire aux mines leur plus grand effet possible.

L'assiégeant a trois objets quand il creuse des mines devant une place. Le premier c'est de découvrir les galeries de contre-mines, afin d'empêcher l'assiégé d'établir ses fourneaux sous ses cavaliers de tranchées et sous les batteries de breche. Le second c'est de crever ces mêmes galeries et de couper la communication des feux aux fourneaux, par l'explosion des globes de compression, ainsi que l'essayerent les Prussiens au siege de Schweidnitz, et les Autrichiens, dit-on, au dernier siege de Valenciennes. Le troisieme enfin est quelquefois d'établir des fourneaux pour renverser la contrescarpe

d'un ouvrage, ou pour arriver, en passant sous un fossé sec, jusqu'à l'escarpe, afin d'y faire une breche.

Quand l'assiégeant ne cherche qu'à aborder sous terre le mineur et les dispositions de l'assiégé, il ouvre ordinairement ses puits un peu en arriere de la troisieme parallele, et se tient ainsi à couvert des vues de la place en travaillant le plus mystérieusement qui lui est possible; mais alors qu'il a l'intention de cheminer en avant et de faire sauter le terrain pour crever les galeries et les rameaux de contre-mine, il est forcé de s'avancer sur le glacis par le moyen des tranchées poussées droit vers les points où il veut ouvrir ses puits; alors il environne ces puits d'un parapet qu'il renforce à mesure que l'excavation lui produit une plus grande masse de terre.

Cette espece de mine ou de fougasse ne demande pas une conduite de l'auget, telle que j'en ai donné le détail: il suffit qu'il atteigne jusqu'au niveau du fond de la tranchée qui environne le puits; et le point où l'auget le rencontre, devient le foyer de la fougasse. Le boute-feu se retire dans la tranchée la plus voisine, dès que sa fusée, dont il connoît la durée, est allumée.

L'assiégé ne peut agir de même: il ne peut au-dehors et en présence de l'ennemi s'enfoncer verticalement au-dessous du point qu'il veut faire sauter; il faut qu'il y arrive par une galerie. Il résulte de-là que c'est spécialement à l'attaque des places et à la guerre de campagne qu'appartient la construction des fougasses avec des puits; à moins toutefois qu'elles ne soient préparées d'avance, dans le tems où l'ennemi ne peut encore en troubler ni découvrir le travail.

Souvent l'assiégeant se dispense de construire des communications vers les points qu'il a dessein de faire sauter; il y attache le mineur de nuit, le plus furtivement qu'il peut; et au point du jour il se trouve déja enterré et couvert d'un parapet.

Dans tous les cas, il est difficile à l'assiégeant de cacher cette opération, qui se décele d'elle-même : dès qu'il l'apperçoit, l'assiégé réunit tous ses feux sur les puits, il tente des sorties pour les combler et y enterrer le mineur, en même tems qu'il cherche à l'atteindre sous terre en dirigeant ses rameaux de contre-mine vers ces mêmes points.

Des fougasses à bombes.

45. J'ai dit ailleurs que, parmi les meilleurs moyens de charger les fougasses, l'on compte l'usage des bombes. En effet, indépendamment de l'avantage de présenter à l'inflammation, des charges sphériques, elles causent plus de désordres que ne feroient les simples fougasses, et peuvent rester long-tems enterrées en conservant la qualité des poudres. Je vais en conséquence rapporter la maniere dont on les dispose pour cet effet.

Une bombe ou obus de 6 pouces, pesant de 22 à 24 livres, contient à charge pleine 2 livres 8 onces de poudre. Il n'en faut que 12 onces pour la faire éclater.

Une bombe de 8 pouces, pesant de 42 à 44 livres, contient à charge pleine 4 livres 1 once de poudre. Il n'en faut qu'une livre pour la faire éclater.

Une bombe de dix pouces, pesant de 98 à 102 livres, contient à charge pleine 10 livres de poudre. Il n'en faut que 3 livres pour la faire éclater.

Une bombe de 12 pouces, pesant de 145 à 150 liv. (1), contient à charge pleine 17 livres de poudre. Il n'en faut que 5 livres pour la faire éclater.

Une bombe de 18 pouces, pesant 150 livres (2), con-

(1) Cormontagne ne donne à cette bombe que 130 livres de poids et 15 livres de charge. Cela pouvoit être exact de son tems : il faut s'en rapporter à l'artillerie, qui m'a fourni ces mesures.

(2) Cormontagne ne lui donne que 490 livres de poids, mais 48 liv.

tient à charge pleine 40 livres de poudre. Il n'en faut que 13 livres pour la faire éclater.

Conséquemment 1°. si l'on enterre une bombe ou un obus de 6 pouces chargée pleine, elle formera un entonnoir de mine en la plaçant à-peu-près à 3 pieds sous terre. (Voyez la table des charges.)

2°. Celle de 8 pouces sera propre à un entonnoir de 3 pieds 6 pouces de ligne de moindre résistance;

3°. Celle de 10 pouces enlevera 5 pieds de ligne de moindre résistance;

4°. Celle de 12 pouces enlevera 6 pieds de ligne de moindre résistance;

5°. Enfin, la *comminge*, sera propre à enlever 8 à 9 pi. de ligne de moindre résistance : toutes ces profondeurs prises dans les terres les plus légeres;

6°. Plusieurs bombes de même diametre réunies pour une charge commune, formeront des entonnoirs proportionnés à leur nombre, et dont on pourra déterminer les lignes de moindre résistance par la formule générale que j'ai donnée.

Une fougasse chargée de plusieurs bombes d'un moindre diametre, est préférable à celle qui n'en contiendroit qu'une d'un diametre plus fort tel quelle renfermeroit une charge égale ou supérieure à celles des petites bombes réunies; parce que celles-ci donnent un plus grand nombre d'éclats et se divisent de direction en sortant de la mine, ce qui cause un plus grand désordre à l'ennemi.

Construction des Boîtes des fougasses à bombes.

Il est évident de soi-même qu'une simple bombe n'a pas besoin de caisse pour la contenir, et qu'il suffit,

de charge. Cette bombe n'est plus en usage dans l'artillerie, mais peut encore être utile à la guerre souterraine.

après l'avoir placée dans le fourneau de la fougasse et l'avoir solidement fixée dans sa position, de faire communiquer l'auget à la fusée, puis de combler le puits, etc.

Mais s'il s'agit d'accorder l'effet de plusieurs bombes, de 4, par exemple, l'on fait construire une caisse *a* *fig.* 18 et 19, de bois de sapin de 2 pouces d'épaisseur, partagée en deux parties par un plateau *d*.

La partie supérieure *c*, de cette caisse, contient les quatre bombes *e*, et leur diametre détermine la longueur et la largeur de la caisse, ainsi que la hauteur de sa premiere division. Elles doivent y être placées d'une maniere fixe, arrêtées même avec des coins, la lumiere de chaque bombe posant sur le plateau *d*, et répondant à deux trous de même grandeur pratiqués dans cette séparation, ensorte que le centre de la bombe et celui de la lumiere soient dans une ligne perpendiculaire au plan du plateau. Dans cette situation, l'on place la fusée *f*, de maniere qu'elle réponde au centre de la bombe, et qu'elle déborde, en dessous, de 8 ou 9 lignes le madrier de séparation.

La partie inférieure *b*, est une chambre particuliere pour la poudre qui doit communiquer le feu aux fusées.

Cette chambre reçoit la communication du feu par le moyen du saucisson *h*, qui a dans son milieu une entaille *i*, et qui communique à la fougasse par l'auget *g*. Cet auget est double quand il s'agit de faire sauter *successivement* une suite de fougasses semblables, disposées en chapelet sous le terre-plain d'une communication ou bien sous quelque logement fait sur le glacis.

Quand l'objet de la mine est seulement de faire éclater les bombes, et que leur charge est proportionnée à la ligne de moindre résistance, il suffit que l'espace *b* puisse contenir le saucisson, et conséquemment qu'il ait 1 pouce ou 18 lignes de hauteur. Alors encore toute

la poudre qui remplira cet espace sera en surcharge, mais l'effet de la fougasse n'en sera que plus complet.

L'on pourroit au surplus faire joindre le saucisson au plateau, et ne faire que de simples traînées depuis la coupure jusqu'aux fusées *f*.

Mais s'agit-il de jeter d'abord les bombes hors de la fougasse, pour les faire éclater au moment où elles sont au niveau du sol (ce qui est le meilleur effet qu'on leur puisse faire produire), il faut que la chambre *b*, contienne séparément une charge égale à celle qu'exigeroit la fougasse abstraction faite de celle des bombes, qui peut alors être réduite à la seule quantité nécessaire pour les faire éclater. Sur quoi, il faut néanmoins observer que l'on obtient d'autant plus d'éclats que la charge de la bombe est plus forte, mais des éclats plus gros quand elle est moindre.

De la grandeur des caisses de fougasses à bombes.

Prenons pour exemple 4 bombes de 12 pouces. Elles n'ont de diametre extérieur que 11 pouces 8 lignes. La division *C* devroit donc avoir 23 pouces 4 lignes de côté intérieur dans le sens de la longueur et de la largeur, et 11 pouces 8 lignes de hauteur; mais il est bon de fixer la premiere dimension à 24 po. et la seconde à 12, pour que leur disposition soit plus facile en conservant un peu de jeu : des coins remplissent alors les vuides.

Supposons qu'il s'agisse d'enterrer ces bombes à 9 pieds de profondeur, dans l'espece de terre appelée par Vauban, sable fort. Suivant cet auteur, il faut à-peu-près 68 livres de poudre; le pied cube de poudre pesant 64 livres, l'on fera cette proportion :

64 livres : 1728 pouces :: 68 livres : $x = 1836$ pouces.
dont le dernier terme exprimera en pouces cubes, la

capacité que devroit avoir la chambre si elle ne devoit contenir que de la poudre. Mais il faut ajouter à ce résultat, la place que doit occuper l'auget dans cette même chambre. L'auget ayant 3 pouces de côté et 2 pouces de saillie en dedans, chaque bout, s'il est double, occupera 18 pouces cubes, et les deux bouts en occuperont 36. Le vuide total de la chambre devra donc être de 1872 pouces cubiques.

Or, cette chambre ayant 24 pouces de côté en longueur et largeur, ou 576 pouces quarrés de base, il faut diviser le solide 1872 par cette base, et le quotient : 3 pouces 3 lignes, sera la hauteur intérieure de la chambre aux poudres.

Ainsi, en additionnant toutes les hauteurs et largeurs, la caisse aux bombes aura, dans le cas dont il s'agit, 28 pouces de largeur, autant de longueur, et 21 pouces 3 lignes de hauteur, ces dimensions prises en dehors.

S'il s'agissoit d'enterrer les mêmes bombes à 12 pieds (c'est la plus grande profondeur des fougasses) et dans la terre forte, la chambre devant alors, selon Vauban, contenir à-peu-près 209 livres de poudre, l'on auroit $x = 5643$ pouces; à quoi ajoutant 36 pouces pour les augets, l'on auroit 5679 pouces pour la capacité de la chambre, lequel nombre étant divisé par 576 pouces quarrés, base de ladite chambre, donne un quotient de 9 pouces 10 lignes $\frac{1}{3}$ à-peu-près, pour sa hauteur intérieure. Ainsi la hauteur totale extérieure de la boîte, seroit de 27 pouces 10 $\frac{1}{3}$ lignes (1).

---

(1) Cette disposition, qui consomme beaucoup de poudre, est tirée d'un mémoire manuscrit sur la défense des fleches, par le moyen des fougasses, écrit que je crois de Cormontagne.

CHAPITRE III.

De la construction méchanique des contre-mines.

Le premier objet à remplir, c'est celui du tracé sur le terrain, du chemin que doivent suivre les galeries sous terre.

Les mineurs different d'opinions à cet égard : ils s'accordent cependant assez généralement sur l'avantage de construire une galerie magistrale, une galerie d'enveloppe, des galeries de communication de la magistrale à l'enveloppe, enfin des rameaux d'écoute au-delà de la galerie d'enveloppe.

Tracé de la galerie magistrale pour la défense du glacis et du chemin couvert.

46. Autrefois la galerie magistrale destinée à la défense du glacis et du chemin couvert, régnoit le long de la contrescarpe, et se trouvoit adossée à son revêtement. Mais, dans cette position, l'assiégeant la rencontroit en faisant la descente du fossé, et l'assiégé perdoit l'avantage de s'en pouvoir servir contre cette descente.

Quelques mineurs ont cru remédier à cet inconvénient, en plaçant la magistrale sous la banquette du chemin couvert, et tenant son sol assez bas, quand aucune circonstance ne s'y oppose, pour que la descente du fossé n'arrive pas jusqu'à la voûte de cette galerie.

Je pense que c'est un bien foible remede. L'assiégeant sait toujours d'avance quand un front est contre-miné; et

quand il ne seroit pas exactement informé de la position de la magistrale, il lui devient néanmoins très facile de la découvrir lorsqu'il est certain qu'elle existe entre la crête du glacis et la contrescarpe. Dès qu'il arrive au chemin couvert, il forme un puits de quelques pieds de profondeur sous la banquette, et bientôt son mineur touche à l'extrados de la voûte, qui ne peut jamais être très enfoncé au-dessous de ce point. S'il ne la rencontre pas, il chemine à cette profondeur vers la contrescarpe, et ne peut manquer de couper la galerie après avoir fait un chemin de 3 ou 4 toises. Il n'y a donc pas grand chose à gagner à cette finesse; et pour s'en tenir au vrai, il faut convenir que l'emplacement de cette galerie ne sauroit être un long mystere.

Si l'on considere d'un autre côté que l'emplacement de la magistrale, lorsqu'elle est adossée à la contrescarpe, offre l'avantage de contribuer à la défense des fossés, en remplissant l'objet d'un réduit à feux de revers; que l'on peut revenir par derriere pour attaquer la descente de l'assiégeant à l'aide des rameaux qui partiroient de cette même magistrale, ou que l'on pousseroit sur les travaux de l'ennemi en partant de la galerie d'enveloppe; qu'enfin, l'effet de cette disposition oblige l'assiégeant, avant d'oser entreprendre le passage du fossé, à engager une guerre de mineur à mineur pour détruire la magistrale sur toute son étendue vis-à-vis des breches, et dans toutes les parties où elle peut leur fournir des feux de flanc, peut-être est-on autorisé à penser en derniere analyse, que l'adossement à la contrescarpe est préférable à l'emplacement sous la banquette du chemin couvert.

Je me contente néanmoins d'établir ce parallele, sans trancher la question; je m'en tiendrai même ici au dernier avis; puisque c'est celui de quelques hommes de

mérite, dont les erreurs même peuvent avoir quelque chose d'imposant.

D'après cela, prenez le bord intérieur de la banquette du chemin couvert du front ou de l'ouvrage séparé que vous voulez contre-miner, tracez une ligne *a b c p d e f g h i k* (Pl. IV, *fig.* 20.), parallele à la crête du glacis, sans égard aux crochets des traverses; pour cet effet, prenez des piquets que vous ferez placer de 20 toises en 20 toises, ainsi qu'à tous les saillans et à tous les rentrans, puis, sur les têtes de ces piquets, faites entailler des coches pour déterminer plus exactement, à l'aide d'un cordeau qui vous dirigera, la ligne demandée, et qui sera celle du milieu de la magistrale.

Tracé de la galerie d'enveloppe.

47. La galerie d'enveloppe est, à-peu-près, parallele à la galerie magistrale, mais plus avancée vers la campagne. Son objet est 1°. de faciliter la construction des rameaux de contre-mines sous les cavaliers de tranchée et les cheminemens de l'ennemi vers la crête du glacis; 2°. de découvrir les travaux du mineur assiégeant; 3°. de l'envelopper de toute part de camouflets et de fougasses; de l'arrêter enfin, lorsque, partant des tranchées et cherchant à éventer les contre-mines, il s'engage entre les deux galeries magistrale et d'enveloppe.

La distance de la galerie magistrale à laquelle on doit placer celle d'enveloppe, n'est point déterminée. Plus on l'éloigne et plutôt sans doute elle présente à l'assiégeant les chicanes de la guerre souterraine; mais aussi plus cette distance est grande, plus l'on multiplie les travaux: non seulement les communications entre ces deux galeries, mais encore les rameaux qui doivent conduire aux fourneaux destinés à enlever le terrain compris entre elles deviennent plus longs, d'une construction plus diffi

cile ; mais alors les fourneaux eux-mêmes pourroient n'avoir pas la profondeur nécessaire pour que les entonnoirs des mines embrassassent tous les points de l'espace que l'on veut disputer à l'ennemi, à moins qu'on ne les multipliât à l'excès.

Lorsqu'une contrescarpe n'a pas plus de 10 ou 12 pieds d'élévation, et que le glacis du front à contre-miner est roide et court, l'on est obligé de tenir la galerie d'enveloppe à un rapprochement plus grand de la contrescarpe, afin de conserver assez de hauteur en terres au-dessus de sa voûte, et assez de ligne de moindre résistance au-dessus des rameaux qui devront en partir ; autrement il faut la placer fort au-dessous du niveau de la magistrale.

Assez généralement les mineurs s'accordent à placer la galerie d'enveloppe au plus loin à 20 ou 25 toises de la galérie magistrale : la regle commune est de porter cinq fois la ligne de moindre résistance en dehors, à partir de la crête du glacis. C'est la méthode de Cormontagne que l'on peut adopter chaque fois que des considérations locales analogues à celles que je viens d'indiquer, ne prescrivent pas une modification particuliere.

Quant à la maniere de tracer cette galerie sur le terrain, elle est la même que la précédente ; mais j'observe qu'il est bon que l'enveloppe soit disposée à pan coupé vis-à-vis les angles saillans des bastions, ceux des demi-lunes et des places d'armes rentrantes, de maniere à ce que le pan *lm*, soit dirigé perpendiculairement sur la capitale de ces ouvrages, et qu'il ait une longueur égale au moins à neuf ou dix fois la profondeur des terres au-dessus du sol de la galerie. Ainsi cette perpendiculaire aura au moins 120 pieds ou 20 toises de longueur, lorsque cette hauteur sera de 12 pieds, c'est-à-dire, lorsque la ligne de moindre résistance, prise au niveau du sol

de la galerie, sera celle des plus petites mines et des plus grandes fougasses. La raison de cette disposition se développera par ce qui suit.

48. Je pense qu'on devroit adopter la même regle pour la distance des galeries, parce que l'assiégeant qui attaqueroit les contre-mines par des globes de compression, ne pourroit jamais échapper à ces deux galeries à la fois, en supposant même le succès de ces globes tel qu'ils creveroient des galeries semblables jusqu'à la distance de quatre fois la ligne de moindre résistance; car s'il établit un globe dans le milieu entre la magistrale et l'enveloppe, la distance de son fourneau à chacune d'elles étant plus grande que quatre fois la ligne de moindre résistance, elles seront toutes deux hors d'atteinte. Si au contraire il s'approche plus de l'une que de l'autre, ensorte que son éloignement à la premiere la soumette à l'effet de son fourneau, il est évident que la seconde demeurera intacte, et que de-là le mineur assiégé pourra se diriger avec certitude sur son entonnoir pour l'empêcher d'en déboucher et lui faire éprouver toutes les chicanes de l'art.

49. Il résulteroit de cette regle, qu'il faudroit séparer de 50 toises les deux galeries, sous une ligne de moindre résistance de 30 pieds, qui est la plus grande que l'on doit supposer, d'après les regles ordinaires qui déterminent le relief des glacis et la profondeur des fossés.

Pour corriger cet excès, il faut remarquer que dès que le mineur assiégeant se trouve enfoncé de 20 pieds sous terre ordinairement, l'air lui manque et qu'il ne peut guere établir son fourneau plus bas, parce qu'il est difficile de lui en procurer par les moyens connus, à ce degré de proximité des défenses de la place. L'on peut donc regarder comme certain que la ligne de moindre ré-

sistance de son globe de compression n'excédera pas cette profondeur, dont la charge est de six milliers de poudre; d'où il résulteroit que le plus grand éloignement des galeries magistrale et d'enveloppe, seroit limité entre 180 et 200 pieds, c'est-à-dire entre 30 et 33 toises.

Tracé des galeries de communication entre la magistrale et l'enveloppe.

Il est aisé de voir que si de distance en distance, et au même éloignement où se trouvent les galeries magistrale et d'écoute entre elles, l'on pratiquoit des galeries de communication de l'une à l'autre, il en résulteroit l'avantage, 1°. de présenter à l'ennemi un entourage de surveillance, un cadre de mines, autour de tel point du glacis au-dessous duquel il se seroit enfoncé entre ces deux galeries; 2°. que, d'après la regle que j'ai proposée, N°. 48, tout le bonheur, toute l'adresse du mineur assiégeant se borneroit à lui faire rompre avec un globe de compression, deux côtés adjacens de l'un de ces cadres de galeries, et qu'il resteroit toujours deux autres côtés opposés aux premiers, desquels on pourroit déboucher sur lui; 3°. que l'une quelconque de ces communications étant rompue, les communicasions paralleles ou voisines, donneroient encore de grandes facilités pour marcher sur le mineur assiégeant; 4°. que si l'on suppose au contraire que l'on n'ait que les communications *el*, *dm*, *fm*, *hl*, dans les rentrans, où l'ennemi ne parvient pas avec facilité, il en résulte qu'il fait tomber tout le dispositif des parties saillantes, sur-tout en avant des angles flanqués des demi-lunes, s'il parvient à couper l'enveloppe aux points *n*, *o*, parce qu'alors il n'y a plus de moyens de communiquer avec les parties des contre-mines situées au-delà de ces points.

Tous

Tous ces avantages sont grands sans doute, mais ils sont acompagnés des inconvéniens suivans : 1°. Le travail qui en résulte, et la dépense qu'il faut y sacrifier sont considérables ; 2°. plus on multiplie les communications, et plus l'ennemi peut facilement les rencontrer et déjouer les ruses de la guerre souterraine ; 3°. lorsque les approvisionnemens en poudre, sont, dans une place en disproportion avec un semblable dispositif, il devient impossible de disputer toutes ces galeries à l'ennemi. Forcé alors de vous restreindre à la défense d'un espace qui réponde aux moyens bornés que vous possédez, si l'assiégeant attaque toutes les galeries, il s'empare de celles que vous ne pouvez lui disputer, et elles deviennent pour lui un établissement précieux qui le rend bientôt maître du reste et conséquemment de tout le champ de bataille souterrain.

En balançant toutes ces considérations, et en faisant attention que des rameaux de contre-mine poussés d'une galerie vers l'autre, peuvent, quant à la défense, contourner le mineur assiégeant à-peu-près comme le feroient les galeries dont nous venons de parler, il paroît que la parti préférable est celui de s'en tenir aux communications *cl*, *dm*, *fm*, *hl*, placées sous les rentrans, et distantes l'une de l'autre à chaque rentrant de maniere que *lm* ne soit pas (N°. 47.) plus petit que 20 toises, ni plus grand (N°. 49.) que 33 : en observant en outre que *pq* et *gr* soient au moins de 15 toises, et au plus d'une longueur égale à la séparation des galeries magistrale et d'enveloppe, afin de ne pas trop rapprocher ces deux galeries vers les points *p*, *q* ; *g*, *r*.

Ces détails démontrent que les piquets placés en *c*, *l*, *d*, *m*, d'une part ; et en *f*, *m*, *h*, *l*, de l'autre, dessinent d'eux-mêmes les communications dont il s'agit.

Il n'est plus alors question que de déterminer les en-

trées par lesquelles il faut communiquer des fossés à ce système défensif.

A cet égard, la construction la plus naturelle est la meilleure. Il suffit de prolonger les directions *cn*, *dp*, *fg*, *hg*, jusqu'aux points *s*, *t*, *u*, *v*, de la contrescarpe, qui seront alors ceux de l'entrée des galeries dans les rentrans. Et comme il est indispensable de pouvoir arriver directement aux saillans *b*, *e*, *i*, pour y disposer des fourneaux, il faudra établir aussi les portions de galeries *wb*, *xe*, *yi*, afin de faciliter les déblais, et surtout la communication de l'air extérieur dont, sans elles, les mineurs manqueroient dans ces points.

Les anciens mineurs plaçoient des communications sur toutes les capitales. Cette méthode avoit un défaut essentiel qui devoit la faire proscrire, c'étoit d'avoir une position donnée, dessinée aux yeux de l'assiégeant par l'arête du glacis, au-dessous de laquelle il lui suffisoit de creuser pour être certain de la rencontrer.

Un officier du génie a pensé qu'en faisant partir plusieurs galeries en lignes droites et divergentes, des casemates à feu de revers qu'il suppose établies aux saillans de la contrescarpe, l'assiégé jouiroit de la faculté de faire sauter l'assiégeant à chaque pas qu'il feroit vers ces mêmes saillans, sans autre procédé que celui de placer des fourneaux successifs dans ces mêmes galeries, en les rapprochant de la place proportionnellement au rapprochement de l'ennemi. Cette idée le séduisoit par sa simplicité; il croyoit aussi y voir de l'économie : ainsi, disoit-il plaisamment, nous supprimerons cette inutile complication de rameaux et de fourneaux, formant des arbres généalogiques qui ne sont plus en crédit. Il établissoit sans doute aussi de ces faisceaux de galeries aux rentrans, et à plusieurs points intermédiaires entre ceux-ci et les saillans, afin d'embrasser tout le glacis.

Envisagée sous le rapport de la simplicité, cette méthode offriroit en effet des avantages séduisans ; mais elle auroit des inconvéniens majeurs. 1° L'on ne pourroit construire des fourneaux que sous une ligne de moindre résistance constante et déterminée par la profondeur de chaque galerie. 2°. Les fourneaux ne pourroient point être disposés de maniere à enlever telle ou telle partie de la surface du glacis, ni recevoir les espacemens prescrits par les bonnes regles de l'art. 3°. Il seroit difficile alors de contre-miner la tranchée de couronnement, et les batteries de breche sur tout le développement que cette tranchée embrasse. 4°. L'expérience a démontré qu'il falloit que le rameau qui conduit à un fourneau de mine, fît un détour et ne se confondît jamais avec la galerie, parce que le bourrage fait en ligne droite, donne la plupart du tems à la mine la faculté de s'échapper, les soins que l'on peut y apporter ne pouvant jamais produire une résistance égale à celle du terrain solide contre lequel l'on arcboute les étrésillons, quand on suit la méthode prescrite par Vauban et les anciens mineurs. 5°. A raison de la circonstance précédente, le comblement de la galerie devroit à chaque fourneau égaler en longueur au moins trois fois la ligne de moindre résistance ; il resteroit donc sur le glacis des dames entre les entonnoirs, et ce seroit en outre un grand surcroi de travail, etc. 6°. Enfin, l'explosion d'un seul fourneau pratiqué dans la galerie même, l'infecteroit au point de suspendre pendant long-tems la surveillance et le travail du mineur assiégé.

Pour toutes ces raisons je pense que les galeries qui enveloppent l'ennemi, telles que je les ai décrites, sont préférables, et que, malgré leur discrédit, il faut encore nous en tenir à la ramification des arbres généalogiques dans les fourneaux, en la simplifiant néanmoins le plus qu'il est possible.

Tracé des galeries d'écoute en avant de l'enveloppe.

51. Ces galeries ont un double objet : l'un, dont elles tirent leur nom, est de faciliter les moyens d'*écouter* dans le silence, pour découvrir par le bruit de ses instrumens, le lieu du travail souterrain du mineur assiégeant ; l'autre, c'est de pousser vers l'ennemi, en avant de la galerie d'enveloppe, les rameaux de mine ou de fougasses que l'on fait partir de droite et de gauche des écoutes, pour défendre les approches de la place, et l'accès de la galerie d'enveloppe.

Les galeries d'écoute sont représentées au plan (fig. 20), par les lignes ma', la', ob', nc', md', le', etc., qui partent de l'enveloppe. Elles ont 20 toises de longueur. Cette dimension est assez arbitraire, et dépend des mêmes considérations qu'il faut peser dans l'éloignement de la galerie d'enveloppe. Cependant l'on peut adopter pour regle de donner à ces galeries une longueur égale à la séparation de l'enveloppe et de la magistrale.

Quant à leur nombre et à leur direction, l'on peut les combiner d'après les regles suivantes : 1°. Ne pas éloigner entre eux les débouchemens *l*, *m*, *o*, *n*, *m*, des écoutes, de moins de 20 toises ni de plus de 35, par la même raison qui détermine cette latitude pour l'espacement des autres galeries (Nos. 48, 49, et 50.), conséquemment de se fonder à cet égard sur la donnée de la ligne de moindre résistance.

C'est à ce principe que se rapporte aussi la longueur de la ligne lm, que nous avons déterminée précédemment (N°. 47.), et des extrémités de laquelle partent les écoutes des saillans, les plus importantes de toutes.

2°. Comme il est essentiel que ces galeries occupent

à-peu-près semblablement tout le dessous du terrain, l'on parviendra à cette disposition, vis-à-vis la demi-lune et les places d'armes rentrantes, en traçant les lignes la', ma', parallèlement à la capitale de la demi-lune, et celles md', le', dans le prolongement des communications cl, dm, fm, hl; puis en partageant en trois ou quatre parties égales, suivant l'espacement déterminé par l'application du principe que nous avons posé, la ligne mm sur la face droite, et la ligne lm sur la face gauche, pour avoir les points intermédiaires o, n; et enfin en partageant semblablement les distances $a'd'$, pour avoir les extrémités extérieures b', c, des écoutes opposées aux faces de la demi-lune.

Celles vis-à-vis les saillans des bastions sont données par une division en deux ou trois parties égales, des distances lf', $e'g'$, etc., opposées à ses faces, l'une marquant l'enveloppe supposée prolongée jusqu'à la capitale; l'autre étant considérée comme une parallele menée à lf', par le point connu e', et prolongée jusqu'à la même capitale.

Des galeries et écoutes pratiquées sous le terre-plain des ouvrages.

52. Indépendamment des contre-mines pratiquées sous le glacis d'une place et de ses ouvrages avancés, l'on établit aussi quelquefois des galeries sous le terre-plain des ouvrages extérieurs et du corps de place, desquelles on fait partir des rameaux d'écoute.

Les galeries majeures adossées aux revêtemens de ces ouvrages ont un grand avantage, en ce qu'elles rendent impossible l'attachement du mineur assiégeant à ces mêmes revêtemens. Il ne peut y donner un coup de marteau qu'il ne se découvre, et ne se mette dans le

péril évident d'être prévenu par les mineurs assiégés qui l'attendent et lui dressent des embûches. Mais, depuis que la plupart des breches se font à coup de canon, cet avantage s'est affoibli. *Si l'ennemi soupçonne cette disposition, il ouvre la galerie, à moins qu'elle ne soit trop basse par rapport à la position du canon et à l'élévation de la contrescarpe, pour en être atteinte, ce qu'il n'est pas toujours facile d'arranger. La galerie* majeure rompue, les mineurs assiégeans cherchent à s'y introduire, à la disputer; et s'il est vrai de dire que cette entreprise est d'un succès douteux contre ceux qui la possedent d'avance, il l'est également que cette difficulté étant vaincue aux bastions, l'on peut regarder la place comme prise, parce que l'assiégeant peut aisément faire sauter tout ouvrage dont le dessous reste en sa puissance.

Les galeries majeures ou magistrales aux revêtemens des ouvrages, sont donc particulièrement utiles dans le cas où le canon ne peut les atteindre. L'on verra qu'elles conviennent essentiellement sous ce rapport au système de défense que je propose à la fin de ce volume, et qui m'a paru propre à empêcher la formation des breches par tout autre moyen que par celui des mines.

Les rameaux d'écoute qui partent des galeries majeures dont il est question, ont un objet bien important: celui de rester maître du dessous du fossé, afin 1°. d'empêcher le mineur assiégeant d'arriver aux ouvrages par des chemins souterrains; 2°. de renverser, par des fougasses, les épaulemens du passage du fossé; 3°. d'établir des fourneaux semblables sous la breche, pour empêcher l'ennemi de s'y établir.

Comme les breches ne se font ordinairement qu'aux faces des bastions, c'est à ces faces d'un front d'attaque que l'on peut restreindre le dispositif dont il est ici question.

Les rameaux d'écoute sont différemment tracés dans les bastions *A*, *B*, et sur les deux faces de la demi-lune *C* : dans l'un de ces tracés ils sont paralleles à la capitale ; dans l'autre, perpendiculaires à la face. Le dernier me paroît préférable, parce qu'une même longueur de rameau s'étend sous une plus grande partie du fossé. Il suffit de les espacer de 10 en 10 toises, parce que (N°. 50 et 51.) la ligne de moindre résistance des fougasses ne doit pas, sous les fossés, excéder 1 toise. Leur longueur peut se borner aux deux tiers de la largeur du fossé.

Les rameaux d'écoute sous les fossés s'exécutent rarement avant l'investissement de la place.

Quand les galeries majeures n'existent pas alors, on ne laisse pas que de disposer des écoutes sous les fossés, en débouchant, par des galeries en charpente, de l'intérieur des ouvrages, dans le terre-plain desquels on creuse pour cet effet des puits d'une profondeur suffisante, etc.

Quant à la maniere de communiquer aux galeries majeures des ouvrages, la meilleure, pour les demi-lunes, c'est d'établir des escaliers sous les poternes que l'on pratique vers l'extrémité de ses faces, ou sous ses épaules. Dans les bastions, il suffit de trois communications sur chaque face ; l'une au saillant, l'autre vers son milieu, la troisieme vers l'angle d'épaule. Dans les bastions vuides, ce sont de simples galeries horizontales. Dans les pleins, il faut des descentes.

Si l'on veut se ménager les moyens de faire sauter le terre-plain de la demi-lune, et celui des réduits ou retranchemens des places-d'armes rentrantes, l'on peut, à l'égard de la demi-lune, se borner à y pratiquer une galerie en *Y*, disposée de maniere à ce que les points l', k', se trouvent respectivement sur le milieu d'une ligne $q'p'$, $q'o'$, tirée du saillant q', au milieu p', o', de la

demi-gorge de cet ouvrage, en prenant la branche $l'i'$ sur la capitale, et dirigeant $i'l'$ et $i'k$ perpendiculairement à ses faces. De cette maniere, l'on pourra pousser des rameaux par-tout où l'on voudra. Les galeries nr', sous les places d'armes rentrantes, sont aussi prises sur leurs capitales, et celles mr' sont paralles ou adossées au revêtement des faces des réduits.

Les principes posés pour l'établissement des contremines sous les fronts mêmes d'une place, sont également applicables aux ouvrages avancés et aux caponnieres ou autres communications supérieures qui y conduisent.

REMARQUE.

53. Les regles que j'ai établies pour l'espacement des galeries, de leurs communications et des écoutes, sont fondées sur l'effet, supposé bien constaté, des globes de compression, qui détruisent les constructions souterraines circulairement jusqu'à une distance du centre de leurs fourneaux, égale à quatre fois la ligne de moindre résistance. Mais Cormontagne ne part pas de cette supposition. Il ne sépare ses galeries que d'après l'hypothese que les fourneaux des mines sont chargés de maniere à produire un entonnoir d'un diametre double de la ligne de moindre résistance.

En conséquence, trouvant suffisant de placer deux rangs de fourneaux entre les deux galeries magistrale et d'enveloppe, il éloigne celle-ci de la crête du glacis seulement de 5 fois la ligne de moindre résistance, dans l'objet que l'espace enlevé par ses fourneaux soit de quatre fois cette longueur, et qu'il reste d'une part, entre leur effet et la crête du glacis, une moitié de cette longueur en terrain non enlevé, et un pareil espace de l'autre part, entre l'effet des mines et le point du glacis qui répond au-dessus de la galerie d'enveloppe.

 BOMBAY BRANCH

En attendant que les globes de compression soient mieux constatés, nous nous en tiendrons à l'ancienne hypothese avec Cormontagne et tous les mineurs; mais on devra se rappeler, dans tous les cas, des considérations qui ont servi de base aux regles que j'ai proposées pour celles de Bélidor, Nos. 48, 49, 50 et 51.

De la complication des dispositions de la guerre souterraine.

54. Dans aucune partie des constructions militaires la simplicité n'est plus désirable que dans celle des mines. Les travaux sous terre sont d'une difficulté extrême, d'une très grande dépense, et l'adresse du mineur se perd aisément dans ces labyrinthes inextricables que quelques faiseurs à systêmes ont construits sous certaines places. A mesure que l'on creuse davantage le sol, l'on retrécit le domaine de la mine qui n'existe plus où il n'y a plus de terre; et les immenses travaux qui ne laissent plus qu'une carcasse décharnée, sont alors presque les seuls contre lesquels se dirigent les effets mêmes des contre-mines, qui les rencontrent par-tout. Dans cette disposition, le mineur assiégé a plus à combiner pour ne pas détruire ses propres édifices, que pour détruire ceux de l'ennemi.

C'est pourquoi je pense qu'il faut rejeter ces doubles et triples enveloppes que certains constructeurs proposent comme des défenses merveilleuses, et ces galeries croisées et recroisées qui les lient entre elles, et où le mineur ne peut tenir faute d'air.

Une magistrale, une enveloppe, leurs communications et galeries d'écoute, sous le chemin couvert et le glacis, voilà à quoi doivent se borner les dispositions les plus renforcées, sans égard au sentiment de ces mineurs qui voudroient miner toute la campagne, comme certains

fortificateurs voudroient la couvrir d'ouvrages à corne, comme certains artilleurs voudroient la hérisser de leurs canons.

Souvent même l'on peut se contenter d'une seule galerie; alors l'enveloppe me paroît devoir être préférée à la magistrale, parce qu'elle porte l'effet des mines plus loin, et peut également les rapprocher de la crête du glacis pour incommoder le couronnement et les batteries de breche. Sa position étant en outre moins déterminée que celle de la magistrale, l'ennemi la découvre et la soupçonne aussi plus difficilement.

Tant qu'on le peut, il faut étendre les contre-mines sur les demi-fronts voisins du front d'attaque, afin de forcer l'ennemi, sous terre comme dessus, d'entrer en action avec la valeur de deux fronts, et de lui ôter la faculté d'attaquer séparément et de préférence ces deux demi-fronts, facilité dont il profiteroit s'ils ne lui offroient pas les mêmes résistances de la guerre souterraine.

Dans les places d'une médiocre étendue, où les contre-mines que nous indiquons ici seroient en disproportion avec les moyens de les faire valoir, on doit se restreindre aux contre-mines des points les plus foibles du front d'attaque, conséquemment à celle des saillans. Nous discuterons ailleurs les principes qui peuvent guider pour mettre la guerre souterraime d'une place en équilibre avec ses autres moyens de défense, afin de ne pas lui faire embrasser un espace qu'il seroit impossible de disputer à l'ennemi. Passons, en attendant, à l'excavation des galeries.

De l'établissement du sol des galeries.

55. Dans la guerre sur terre, celui qui tient le dessus possede l'avantage. La maxime est renversée dans

la guerre souterraine ; là l'avantage reste à celui qui a le dessous.

Principe général. Il faut donc dans l'établissement des contre-mines et des mines descendre le plus bas possible, ou au moins tendre à se placer plus bas que son ennemi.

Il est donc intéressant que les contrescarpes des fronts que l'on veut contre-miner, aient beaucoup de relief, afin que le mineur assiégé ait d'autant plus de difficulté à s'enfoncer jusqu'au niveau du fond du fossé, qui est celui du sol de la plupart des galeries de mines.

Cormontagne, dans ses mémoires, établit le sol *a* de la galerie magistrale à 6 pieds au-dessous du fond du fossé, chaque fois que cela est praticable. Cette galerie ayant 6 pi. d'élévation, son intrados, à la clef, se trouve alors au niveau du fossé; et, dans le cas où la contrescarpe a 16 pieds d'élévation et la crête du glacis 8 au-dessus d'elle, ce n'est qu'à 18 pieds, sous la banquette, que l'ennemi peut toucher à la maçonnerie de la voûte, que l'on suppose de 18 pouces d'épaisseur.

Si l'assiégeant commence sa rampe de descente à la distance du fossé de quatre fois la profondeur à laquelle il doit atteindre, cette rampe sera représentée par la ligne *y l*, qui passe à-peu-près à 6 pieds au-dessus de la magistrale : il ne la découvrira donc que dans le cas où, la soupçonnant d'avance, il creuseroit un puits de cette profondeur au-dessous du point *z*.

L'on pourroit l'enfoncer davantage encore, si l'on n'étoit enchaîné par la nécessité de ne donner à cet enfoncement jamais plus que le quart de la distance de la magistrale, au point où doit commencer la rampe pour descendre du fossé jusqu'au niveau du sol. Mais il est de principe qu'une rampe, pour être praticable, ne doit avoir pour hauteur tout au plus que le quart de sa base.

Le sol de la galerie d'enveloppe *g* est déterminé à 24 pieds de profondeur au-dessous du glacis. Il y a donc 4 pieds de pente de *a* en *g*, en supposant que le glacis est, en *h*, de 10 pieds plus bas qu'en *f*.

Le sol de l'écoute *gm* remonte en pente de 2 pouces par toise, ce qui, sur 20 toises, forme une rampe de 3 pieds 4 pouces de talus, du point *m* vers *g*.

Ainsi les eaux se réunissent au point *g* de l'enveloppe, ce qui exige qu'elle ait une pente sur sa longueur, pour les réunir toutes en un point vers l'une ou toutes les deux de ses extrémités, d'où des puits perdus ou des caneaux communiquant à une cunette ou à un fossé plus profond, enfin, des moyens d'épuisement quelconques, doivent les faire disparoître.

Si le glacis *fn*, au lieu d'aller en pente vers la campagne *no*, alloit au contraire en remontant depuis la tête du chemin couvert, et formoit ainsi un glacis de revers, tel que cela se rencontre quelquefois, il faudroit également établir le sol de l'enveloppe à la même profondeur, en réglant celui de l'écoute parallèlement au plan du glacis de revers, ensorte que $mo = gh$. Cette modification ne demande aucun dessin particulier pour être bien saisie. Alors les eaux de transpiration se réuniroient dans la magistrale, dont il faudroit les tirer par les soins précédemment prescrits pour la galerie d'enveloppe.

56. L'on demandera peut-être pourquoi l'on ne profiteroit pas de la facilité de donner une moindre pente au sol des communications, afin de se conformer au précepte donné, N°. 55, en faisant $gh > 24$ pieds. Il faut oblerver à cet égard, 1°. que la profondeur de 24 pieds est plus grande que celle de 20 pieds au-dessous de laquelle nous supposons que l'ennemi ne peut que difficilement s'établir, conséquemment que le principe

est respecté ; 2°. que cette profondeur suffit, comme nous le verrons par la suite, à tout le parti que l'on peut tirer de la défense des contre-mines ; 3°. que la nécessité qui résulteroit d'un plus grand enfoncement, d'employer de grandes charges, ou d'élever les fourneaux en nombreux étages au-dessus du sol de l'enveloppe, entraîneroit ou une grande consommation de cette précieuse matiere, ou des travaux immenses et inutiles.

Cependant il est vrai de dire que l'assiégeant rencontrera à 7 pi. 6 pouc. de profondeur la voûte de l'enveloppe, dont le sol est à 24 pi. sous la surface du glacis. Cette considération me porteroit à donner 3 ou 4 pieds de plus à l'enfoncement de cette galerie. Suivons néanmoins la construction de Cormontagne ; car si les globes de compression agissent en dessous comme latéralement, les voûtes des galeries n'en pourroient être garanties en aucun cas, si le hazard favorisoit l'ennemi au point d'en approcher en dessus, à la distance soumise à leur effet : alors un globe établi à 5 ou 6 pi. seulement sous terre, creveroit, à la profondeur de 24 pi., toute construction sous son fourneau, sans avoir besoin de creuser ce fourneau plus bas.

Pour régler la distance des galeries magistrale et d'enveloppe, nous avons dit (N° 53.), que Cormontagne porte 5 fois la ligne de moindre résistance de *a* en *g*.

Les lignes de moindre résistance changeant de longueur sous les divers points du glacis, cet auteur prend la hauteur moyenne entre $fe = 30$ pieds, et $gh = 24$ pi. ; cette moyenne est ici $ik = 27$ pieds, ainsi $eg = 22$ toises 3 pieds, et $ae = 23$ toises 5 pieds.

Les cottes du profil (fig. 21.), indiquent que la communication *lg*, la magistrale *a*, la galerie d'enveloppe *g*,

et l'écoute *gm*, ont 6 pieds d'élévation, 3 pieds de largeur, et que leurs voûtes et pieds-droits sont en maçonnerie de 18 pouces d'épaisseur.

Pour guider le travail dans l'établissement du sol des contre-mines, il faut un plan construit sur une *échelle* de 4 pouces pour cent toises, où tous les tracés soient marqués d'avance, et les profondeurs sous les glacis cottées à tous les points importans. Ces cottes peuvent être de plus marquées sur la tête des piquets, au-dessous desquels on doit établir les puits, comme je vais l'expliquer.

De la disposition des puits pour l'excavation des galeries de mine.

57. Soit *HI*, la hauteur de la pente à donner au sol d'une galerie quelconque de contre-mine, dont la longueur horizontale est *IK*. Pour connoître combien sa rampe *HK* doit avoir de pente par toise, je divise le nombre de pieds ou de pouces contenu dans *HI*, par le nombre de toises contenu dans *IK* : d'après cela, si l'on a $HI = 4$ pieds, et $IK = 25$ toises, cette pente étant alors représentée par $\frac{4}{25}$ pi. sera de 1 po. 11 lig. $\frac{1}{25}$ à-peu-près par chaque toise.

Connoissant donc, d'après les principes que j'ai précédemment développés, les profondeurs *aH*, *bK*, des points *H*, *K*, à l'extrémité de la galerie, je marque cette profondeur sur deux voyans d'une longueur *égale*, plus grande de quelques pieds que *aH*, et je fais creuser aux points *a*, *b*, qui répondent sur le glacis au-dessus des points *H*, *K*, deux puits dans lesquels j'introduis les voyans respectifs pour en arrêter le *déblai* au moment où, ces voyans étant placés sur les centres *H*, *K*, je vois que les points que j'ai déterminés sur leurs montans, se

confondent avec ceux a, b. Quoique ceux-ci n'existent plus alors, il est toujous facile de les reconnoître, en re-roisant l'ouverture du puits par deux regles placées sur le plan du glacis, qui coupent les côtés opposés et paralleles de ce puits en deux parties égales, et qui se rencontrent exactement aux points cherchés.

Pendant que cette opération se fait, l'on creuse aussi les puits intermédiaires B, C, D, E, F, qui ont été déterminés de position et de grandeur, comme je le dirai ci-après. Pour cet effet, l'on doit avoir un égal nombre de voyans égaux à ceux des puits H, K, et il ne s'agit plus que de s'enfoncer de maniere à ce que les têtes de tous ces voyans intermédiaires se trouvent dans un parfait alignement avec les têtes des deux premiers, parce qu'il est évident que si ces extrémités de lignes égales sont entre elles en ligne droite, les extrémités inférieures qui reposent sur les centres du sol des puits, seront également en ligne droite, et feront partie de la rampe HK, qu'il s'agit de construire sous terre.

L'on voit que ce premier procédé est indépendant de la profondeur des puits intermédiaires, de leur espacement et de la longueur IK de la galerie.

Pour en vérifier l'exactitude, qui est ici très importante, prenez un niveau d'eau, et élevez les têtes des voyans au moyen de leur regle à coulisse, jusqu'à ce qu'elles se trouvent toutes dans une même ligne horizontale, leurs extrémités inférieures restant toujours sur le sol de la galerie au centre de chaque puits; les différences de longueur de ces voyans ainsi alongés marqueront celles des différentes profondeurs des puits correspondans, et si ces profondeurs sont exactement déterminées, elles seront égales à la pente 1 pouce 11 $\frac{1}{25}$ lignes, qui est fixée pour chaque toise, répétée autant de fois qu'il y aura de toises de distance entre les

centres pris au fond des deux puits que vous comparez; ensorte que si cette distance est de 10 toises, par exemple, l'un des voyans sera plus alongé que l'autre de 1 pi. 7 pouc. $2\frac{2}{5}$ lig. Les choses étant ainsi, il est bon de rendre invariable la profondeur de chaque point, par un pavé solidement fixé dans le sol de la galerie.

58. Les puits qui ont pour objet l'excavation des contre-mines, sont de deux grandeurs; les uns ont 14 pieds de côté, pour coffrer exactement le tambour et les épaisseurs des pieds-droits en maçonnerie; les autres ont seulement 6 pieds de côté, pour coffrer la galerie et ses pieds-droits.

Les grands puits doivent être placés aux croisieres des galeries, des communications et des écoutes, ainsi qu'aux extrémités de celles-ci, parce que c'est à ces points qu'il est indispensable de construire des tambours pour la défense des galeries, et pour d'autres raisons que nous détaillerons à leur place.

Si la disposition des contre-mines est donc déterminée d'après le plan, fig. 20, c'est aux points *l*, *m*, *o*, *n*, *a'*, *b'*, *c'*, *d'*, *e'*, qui forment les extrémités des écoutes et les angles de l'enveloppe, ainsi qu'aux points *a*, *b*, *c*, *p*, *d*, *s*, *e*, etc. de la magistrale; enfin à ceux *m'*, *n'*, *r'*, dans les places d'armes rentrantes, et *h'*, *i'*, *l'*, *k'*, dans la demi-lune, etc., qu'il faut établir les grands puits.

Mais si l'on adoptoit au contraire la construction souterraine exprimée sur l'un ou l'autre côté du glacis de la lunette (fig. 23.), il faudroit alors que ces puits fussent disposés comme l'indique le tracé de ces deux dispositions, qui offrent toutes deux l'avantage de cadres propres à entourer le mineur assiégeant, mais dont celle *a* me paroît préférable à cause du moins

d'obliquité

d'obliquité des communications et des écoutes, par rapport aux galeries, ce qui dépend néanmoins de celles des branches du chemin couvert *cd*, sur les côtés *de*.

La position des grands puits étant déterminée, l'on marque sur le terrain celle des petits puits.

Ceux-ci n'ayant d'autre objet que de donner de l'air aux travaux souterrains, et de faciliter l'excavation des terres, le premier but exige que les petits puits ne soient pas séparés entre eux de plus de 10 toises; qu'un petit puits ne soit pas éloigné d'un grand de plus de 15 toises; enfin que la distance d'un grand puits à un autre, n'excede par celle de 20.

Suivant la disposition de la figure 23, il suffiroit donc d'un petit puits entre deux grands, et c'est ce qu'elle indique. Passons maintenant à la maniere de les construire.

59. Chaque fois que deux galeries se croiseront sous un autre angle que l'angle droit, le puits de la croisiere sera un lozange dont les quatre côtés seront égaux entre eux, et à la projection d'une ligne de 14 pieds, sur les lignes obliques représentant la direction des deux galeries qui se coupent : ceci se fera mieux entendre par un exemple.

Soient les lignes *ab*, *cd*, celles du milieu de deux galeries qui doivent se croiser sous l'angle *aec*; par le point *e* où ces lignes se coupent, je mene une perpendiculaire à l'une d'elles, à *ab*, par exemple, et je porte sur cette ligne, de part et d'autre du point *e*, une longueur de 7 pieds, afin que *hg* ait les 14 pi. que doit avoir le puits dans sa largeur. Par les points *h*, *g*, j'abaisse ensuite sur *ab*, les perpendiculaires *hi*, *gf*; et la ligne *if* aura la longueur qu'il convient de donner à chacun des côtés du lozange *mnop*. Il ne s'agira plus que de faire

ek et *el*=*ei* ou *ef*, de mener à *ab* les paralleles *mn*, *op*, et à *cd* celles *mo*, *np*, pour avoir le lozange demandé *mnpo*.

La largeur oblique *qr* du coffrage des galeries se trouveroit de même, en portant de part et d'autre du point *e*, 3 pieds sur la perpendiculaire *hg*, et menant par les points ainsi pris, deux paralleles à *cd*, qui couperont l'oblique *ab* en deux autres points, dont la distance au point d'intersection *e* donnera la longueur des lignes *kq*, *kr*, prises sur le côté *mn* du coffrage du puits.

Les petits puits forment toujours des quarrés parfaits, dont deux côtés opposés sont perpendiculaires à la direction de la galerie.

60. Lorsque l'on a le tracé d'un puits en lozange ou quarré parfait, l'on commence par enterrer dans le sol, de toute l'épaisseur du bois, le chassis *abcd* (fig. 25.), observant de faire déborder les pieces d'assemblage de 3 ou 4 pieds de part et d'autre du vuide du puits, et de placer le chassis bien de niveau. *Il doit avoir hors œuvre la largeur du puits, moins l'épaisseur de deux planches si les terres sont fortes, ou de deux mandrins si elles sont légeres.* Les pieces ont 6 et 8 pouces d'équarrissage pour les grands puits, et 5 et 6 pour les petits; elles sont entaillées par moitié.

Ce chassis placé, l'on creuse les terres suivant le quarré *abcd* du puits, sur une profondeur de 6 pieds si elles sont fortes, et seulement de 3 si elles ont peu de consistance.

A cette profondeur, l'on pose un nouveau chassis, observant que deux des pieces opposées ne doivent exceder la largeur du puits à chaque bout, que de 8 ou 10 pouces que l'on engage dans les terres, et que les

deux autres ne doivent avoir que la longueur de l'éloignement hors œuvre des précédentes, sur lesquelles on les pose, en les assemblant par entailles et conservant exactement le niveau du chassis.

Pour lier ces deux chassis entre eux, l'on place les écharpes *f* (fig. 26.). Ce sont des demi-mandrins de 2 pouces d'épaisseur sur 6 de large, retenus sur le chassis par deux broches de fer à chaque extrémité.

L'on pose ensuite les étrésillons longitudinaux *e*, qui arcboutent les côtés opposés, et divisent le chassis en trois parallélogrammes parfaitement égaux dans les grands puits, ou seulement en deux dans les petits.

Sur les étrésillons longitudinaux et les deux autres côtés du chassis, l'on pose, perpendiculairement à leur direction, les étrésillons transversaux *e*, assemblés sur ces mêmes pieces par entailles, et ayant les mêmes dimensions qu'elles.

On coule ensuite les planches ou madriers *g*, derriere le pourtour des chassis, observant qu'à la hauteur de chaque chassis au-dessous du sol, le déblai du puits excede de deux épaisseurs de planches ou de madriers, la largeur desdits chassis, afin de pouvoir placer l'un sur l'autre, derriere ces chassis, à mesure que l'on s'enfonce, deux rangs de planches disposés comme on le voit en *h*, au profil fig. 26. Ayant alors posé les premieres planches, on les serre contre la terre avec des coins de bois que l'on chasse entre elles et le chassis d'en bas, afin de conserver ainsi le jeu de la planche *h*, pour continuer la cage du puits du deuxieme au troisieme chassis, et ainsi de suite.

Selon que les terres sont plus ou moins mouvantes, l'on met plus ou moins d'étrésillons.

L'espace vuide *i* est laissé sans étrésillons transver-

saux, afin de pouvoir descendre par-là dans le puits, les longues pieces de bois du coffrage.

Il faut laisser déborder les planches du coffrage en *k* de 3 ou 4 pieds au-dessus du sol, afin de garantir le puits de la chûte des matériaux.

Les espacemens des chassis doivent être réglés entre 3 et 6 pi., d'après la consistance des terres, de maniere qu'il en tombe un en *r*, à hauteur du ciel des galeries *q*. Ce dernier chassis porte sur les poteaux montans *p*, aux quatre coins du puits et aux pieds-droits des galeries.

Enfin, si le terrain étoit de mauvaise consistance, on seroit obligé d'enterrer un autre chassis *s* dans le sol des galeries, pour tenir et assujétir tant le pied des montans que les planches de la cage, et de placer en outre un chassis intermédiaire entre ceux *r* et *s*, afin de résister à la poussée des terres, qui, sans cela, feroit casser les planches ou les madriers.

Dans le roc, il n'est besoin d'aucun chassis, et, lorsque les terres sont composées de bancs de différente consistance, l'on se contente de retenir les plus fortes par les chassis, leurs écharpes et leurs étrésillons, sans y faire aucun revêtement en planches.

Pour tirer les terres de ces puits, ainsi que des galeries, l'on établit sur le premier chassis *a b c d* (fig. 27.), un ou deux bouriquets avec leurs treuils et manivelles, d'où descendent les cordes ou prolonges auxquelles on accroche les paniers ou tinnes, dans lesquelles on met un pied cube de terre.

Aux petits puits, on ne met qu'un bouriquet.

La figure 27 représente le plan d'un petit puits, et celle 28, son profil, pris perpendiculairement à l'axe du treuil de son bouriquet.

La figure 29 est le profil semblablement pris sur un grand puits.

Le coffrage de ces deux puits est le même que celui dont nous avons détaillé la construction, à cela près qu'ici les madriers du revêtement paroissent soutenus bout à bout, et non recroisés derriere les chassis comme au profil de la figure 26. C'est pour indiquer que cette méthode est également praticable quand l'on n'a pas à craindre la grande poussée des terres, qui peut occasionner la courbure des planches.

Les échelles de meunier ou especes d'escaliers *V*, qui servent à monter et descendre dans les puits, sont fixés haut et bas sur les étrésillons. L'on voit à la hauteur de chaque chassis un plancher portant sur les mêmes étrésillons en arriere de chaque escalier, pour empêcher la chûte des villenies dans le fond du puits.

Enfin, pour mettre les puits à l'abri des intempéries qui pourroient les endommager et les combler, il est bon de les recouvrir d'un appentis *e a b d c*. Il empêche, indépendamment de la pluie, les effets plus défavorables encore du soleil qui, lorsqu'il donne la plus grande partie du jour sur l'ouverture des puits, en raréfie l'air, l'empêche de circuler dans le fond, où il se charge de la sueur et de l'haleine des ouvriers, les tient dans un état de souffrance, et empêche jusqu'aux chandelles de brûler.

Le dessin exprimant tous les autres détails, nous nous abstiendrons d'en dire davantage sur cette matiere.

De l'excavation et du coffrage des galeries.

61. Le chassis *a b c d* (fig. 29.), qui forme l'entrée d'une galerie dans un puits, doit être placé pendant la construction du coffrage de ce puits. Pour cet effet l'on abaisse deux à-plombs des points où la ligne de milieu du tracé de la galerie, rencontre sur le terrain deux

N 3

faces opposées du puits, et par les deux points où les plombs touchent le fond de ce puits, l'on tire une ligne, qui marque dans le fond la direction de la vraie ligne de milieu de ladite galerie. C'est à cette ligne qu'on rapporte le milieu du chassis de débouchement *a b c d*, que l'on doit établir d'à-plomb, et derriere le vuide duquel il ne doit point y avoir de revêtement de planches.

Cela posé, l'on dégage le chassis de débouchement. Pour cet effet, on creuse derriere lui les terres à-peu-près comme on le voit en *c*, au plan fig. 30, et au profil fig. 31.

Le premier objet étant de placer le chapeau *D*, c'est vers le ciel de la galerie qu'il faut que le mineur s'enfonce davantage, et jusqu'à ce qu'il puisse le placer bien parallèlement et de niveau avec le chapeau *A* du chassis de débouchement, de maniere qu'il y ait 3 pieds de milieu en milieu, ou 2 pieds 6 pouces de vuide entre ces deux pieces. Il n'est pas besoin de dire qu'il faut que la fouille des côtés et du ciel de la galerie se fasse à-plomb en divergent un peu à l'égard de la ligne du milieu.

L'obliquité *GH*, nécessaire pour le placement des madriers de revêtement et des coins *H*, peut être dirigée par une fausse équerre formant l'angle *GGH*, que l'on présente dans ces angles pour en assurer l'ouverture.

Le chapeau *D* doit être fixé dans sa position par des coins placés en dessous et en dessus.

L'on glisse ensuite les planches du revêtement du ciel *B*, entre les coins supérieurs et la terre ; enfin l'on chasse entre ces planches et le chapeau *A* du chassis de débouchement, de nouveaux coins qui en consolident la position.

Sous les extrémités du chapeau *D*, l'on place alors les montans *F*, qui s'y ajustent par entaille de moitié, ainsi qu'on le voit au chassis de débouchement *a b c d* (fig. 29.).

Jusqu'au moment où l'on a besoin de placer ces montans, l'on n'a point encore creusé latéralement la place qui leur est assignée ; cette opération ne doit être faite qu'après le placememt du chapeau *D*.

Ces montans établis d'à-plomb et bien arrêtés par des coins, l'on glisse par derriere les planches *G H*, observant toujours de mettre en *H* d'autres coins, pour se conserver l'espace nécessaire pour faire glisser une continuation de planches derriere le troisieme chassis, lorsqu'il aura été placé.

Le ciel et les côtés du bout de galerie *ADML* étant ainsi garantis de tout éboulement, l'on enleve la masse de terre qui reste au milieu jusque vers *K*, jusqu'à un pi. en arriere du second chassis, dont il ne reste plus qu'à poser la semelle *I*, qui doit également être contenue, par des coins, dans la position qui lui convient.

Cette semelle est enterrée de son épaisseur dans le sol, ce qui exige un petit déblai particulier pour la loger et l'engager sous les montans *F*. Dès qu'elle est établie, on remblaie les vuides qui peuvent se trouver en dessous et sur les côtés de son lit, en damant fortement les terres pour qu'elles ne puissent plus bouger.

L'explication que je viens de donner d'après Cormontagne, est simplifiée dans le manuscrit du capitaine des mineurs de Lorme, officier très estimé, et qui fut chargé avec Cormontagne de diriger les ouvrages de contre-mines de la célebre double couronne de Belle-Croix à Metz. De Lorme commence par établir la semelle *I*, puis les deux montans *F*, et enfin le chapeau *D*. Ce procédé suppose que les terres sont de consistance à souffrir le déblai total de l'espacement des chassis, qu'il place à 4 pieds l'un de l'autre ; car, ajoute-t-il, si par hazard le terrain ne permettoit pas de fouiller les 4 pi. il faudroit affûter des planches en coin, les mettre des-

sus le chapeau *A*, les chasser dans les terres à grands coups de masse jusqu'à refus, puis fouiller la terre jusque vers le bout des planches, où l'on placeroit ensuite un nouveau chassis pour continuer le travail en suivant la même méthode.

Sans doute ce moyen devroit aussi être appliqué au revêtement des côtés.

Quoi qu'il en soit de ces différens procédés, qui naissent des différentes circonstances, ce que nous en avons dit suffit pour indiquer la suite de l'opération du déblai et du coffrage d'une galerie; mais il me reste à expliquer la maniere de former les pentes qui doivent exister dans toutes les galeries, ne fut-ce que pour en faire écouler les eaux de transpiration.

62. Soit une regle bien dressée *NO* (fig. 32.), de 6 pieds de longueur, et soit *OP* la pente que doit avoir la galerie sur cette même longueur.

Ayant une équerre de maçon *AQB*, dont le trait d'à-plomb *QR* est soigneusement vérifié, je prends une seconde regle *NP*, parfaitement égale à la premiere, puis dressant ces deux regles l'une contre l'autre, dans une position horizontale, j'éleve l'extrémité *P* de la derniere, de la quantité donnée *OP*, qui marque la pente que je veux établir.

L'équerre étant alors présentée à la regle *NO*, l'à-plomb au lieu de répondre à la perpendiculaire *VR*, prend la position oblique *QS*, dont je marque très exactement le trait *TS*.

Céla posé, il est clair que le sol de la galerie aura la pente demandée, si chaque fois que je lui présenterai une regle dans le sens exact de sa longueur, l'à-plomb de l'équerre répond au trait *TS*. Il ne s'agit donc plus alors que du matériel de l'excavation: voici en quoi il consiste.

1°. Si la solidité des terres permet de commencer le

placement des chassis par celui de la semelle *I*, il suffira de déterminer sa position de maniere que la regle étant placée sur la ligne de milieu *a b* des deux semelles *e*, *h*, (fig. 33.), l'à-plomb de l'équerre appliquée à cette regle, réponde exactement au trait *TS*, ainsi qu'on le voit au profil fig. 31. dans la position *LM*; puis de placer les montans et le chapeau d'après la position de la semelle.

2°. Mais si les terres sont trop mouvantes, et qu'il faille ainsi commencer par garantir le ciel et poser le chapeau *D*. il faut que l'équerre de maçon *AQB*, soit encadrée d'un chassis *ACDB*, fig. 32; alors, faisant porter la regle sur les deux chapeaux *A*, *D*, et adaptant contre elle en dessous, dans l'espace vuide *C*, le côté *CD* du chassis, supposé bien dressé et exactement parallele à *AB*, il est clair que ces deux chapeaux seront dans une pente parallele à celle que doit avoir le sol de la galerie, lorsque l'à-plomb *QS* répondra au même trait *TS* de l'équerre : il ne s'agira donc plus que de placer les montans et la semelle *i* comme il est dit précédemment, pour que les semelles *E*, *I*, se trouvent dans la pente demandée.

Pour bien établir les chapeaux, on présente la regle sur trois de leurs points, et l'on dégage pour cet effet, à ces mêmes points, pris au milieu et vers les extrémités, les terres qui gêneroient l'application de la regle.

Il faut faire à ce sujet une observation assez importante, qui est que chaque semelle ou le chapeau, devant être placé horizontalement, la regle ne doit porter que sur leurs arêtes semblablement disposées, et non sur leurs faces; car leurs faces horizontales ne sauroient se confondre avec le plan incliné de la rampe. La pratique indique beaucoup d'autres petites attentions qui ne mé-

ritent point de place dans ce traité. Je dirai seulement encore qu'une des plus essentielles est de vérifier la position des semelles au moyen d'une mesure *ec*, *ed* (fig. 33), que l'on applique au milieu *e* de la semelle ou du chapeau bien établi, pour en porter l'autre extrémité aux bouts *c*, *d*, du chassis à établir, afin de parvenir à l'égalité des côtés *ec*, *ed*, du triangle *ced*, après avoir placé les points *e*, *h*, du milieu des semelles *fg*, *cd*, dans l'alignement *ab* de celui de la galerie.

Enfin, quand les terres sont fortes et que l'on peut sans crainte fouiller à partir d'un chassis jusqu'à un pi. au-delà de l'emplacement d'un autre, l'on peut éparger le recroisement des planches du coffrage, comme on le voit aux profils des rameaux ou petites galeries (fig. 34, 35, 36 et 37.); on les fait alors joindre bout à bout, et l'on éparge les coins et une assez grande quantité de bois.

Mais l'usage des coins est indispensablement nécessaire, lorsqu'un coffrage se fait dans le dessein d'exécuter ensuite la galerie en maçonnerie, pour en retirer les bois. Dans ce cas, il faut même placer un coin entre les chassis et le recroisement de chaque planche, s'il y a lieu au recroisement, parce que ce coin étant retiré, rend au lambris le jeu nécessaire pour l'enlever; d'où il résulte que, dans la construction, il faut placer à ces points deux coins au lieu d'un seul, afin que l'un étant remplacé par la planche formant suite au coffrage, l'autre demeure en place jusqu'au moment où il convient de le démonter. La figure 39 est le profil d'un fragment de galerie ainsi disposée.

Des Rameaux.

63. Les rameaux ne sont autre chose que des petites galeries étroites et basses qui conduisent des grandes galeries ou d'un point quelconque, aux fourneaux des

mines et les contre-mines. Les rameaux ne doivent avoir d'ouverture que celle nécessaire pour le passage de deux hommes au plus de front ; alors un seul y peut travailler à son aise : il s'y tient à genoux, afin d'éviter l'élévation nécessaire à un homme debout.

Dans le placement des chassis des rameaux, de Lorme observe que le mineur doit établir d'abord la semelle, ensuite l'un des montans, puis le chapeau, qu'il soutient vers une extrémité sur sa tête, jusqu'à ce que le second montant soit engagé par-dessous et poussé dans la position qu'il doit occuper. Je ne devine pas les motifs de ce procédé particulier.

Quoi qu'il en soit, ces rameaux ne se faisant jamais en maçonnerie, n'ont pas besoin des précautions indiquées pour les galeries dont on veut retirer le coffrage.

Les figures 34 et 35 sont les profils en travers et en long d'un rameau dont le sol est conduit de niveau.

Quand un rameau doit monter ou descendre, l'on ne peut le construire en rampe, que dans le cas où la hauteur de cette rampe n'excède pas le quart de la distance horizontale, prise depuis sa naissance au lieu où elle doit aboutir.

Lorsque cette hauteur est plus considérable, ce qui arriveroit dans les dispositions des mines à plusieurs étages, il faut en couper le sol en gradins ou marches d'escalier, comme on le voit figure 36.

Supposons en ce cas que la hauteur à monter est de 20 pieds, et que la distance de la galerie au point du fourneau, prise horizontalement, est de 30 ; la hauteur de chaque marche devra se trouver dans le même rapport avec sa base ou son giron, c'est-à-dire dans celui de 2 à 3.

D'après cette donnée, l'on détermine le nombre des marches de maniere à les rendre le plus commode possible. Comme il faut que le mineur travaille à genoux,

l'on ne peut donner moins de 9 pouces au giron ; ainsi la hauteur de chaque marche sera de 6 pouces. Il y aura donc 40 marches pour 360 pouces ou 30 pieds de distance, lesquelles 40 marches monteront en effet à 20 pieds puisque chacune aura 6 pouces de hauteur. L'on eût pu donner 1 pied de giron; cette construction n'en eût été que plus commode, alors la hauteur des marches eût été de 8 po. Mais il faut prendre garde, dans cette combinaison, qu'il s'agit de couper des marches dans des terres et de les bien soutenir, ensorte qu'il ne faut pas leur donner trop d'élévation, afin d'éviter l'effet de la poussée des terres qui peut les dégrader malgré les précautions que l'on prend pour revêtir cette espece d'escalier.

Quant à ces précautions, elles consistent à prendre des planches ou madriers d'une longueur égale à la largeur du rameau, et d'une largeur excédant 3 ou 4 po. la hauteur des marches. L'on place à chaque marche l'un de ces madriers contre elle, en enterrant l'excédant de la largeur du madrier sous le giron de la marche précédente, et en le soutenant par deux piquets quarrés de 2 pouces de côté, et de 2 pieds ou 2 pieds 6 pouces de longueur, bien pointus et enfoncés jusqu'à refus de maillet, puis coupés à raz du giron de la marche.

Pour bien faire, l'on construit d'abord une rampe par le moyen indiqué N°. 62, depuis le point de débouchement jusqu'au-delà de celui où doit être placé le chassis voisin. Ce procédé n'a point d'inconvénient pour les rameaux, parce que le déblai en est très rétréci, et que les chassis sont au moins aussi rapprochés que dans les galeries.

Ce bout de rampe étant construit et bien réglé, l'on y marque aisément les lignes de division qui répondent aux points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, etc., que l'on a soin de dé-

terminer sur la regle ; puis l'on déblaie successivement les petits triangles *afb*, *bgc*, etc., en les revêtissant à mesure. Le reste de cette construction ne présente rien qui n'ait été suffisamment expliqué, ou que n'exprime la figure.

Des dimensions des coffrages, et de la grosseur des bois des galeries et des rameaux.

64. La largeur du coffrage d'une galerie dépend de l'objet que ce coffrage doit remplir. Je m'explique.

1°. Lorsque les contre-mines se construisent sur un front de place neuve dont les glacis ne sont point encore rapportés, et se trouvent assis sur un sol qui n'a pas au-dessus du fond de ses fossés un relief considérable, plus grand que 10 ou 12 pieds, par exemple, et qu'en outre ces terres vierges ont une telle consistance, qu'elles se soutiennent sous un talus des deux tiers de leur hauteur, l'on évite le coffrage en charpente, toujours très coûteux, et tous les procédés des constructions souterraines, en faisant dans ces terres de larges coupures suivant la direction des galeries et jusque sur leur sol, afin d'en établir les maçonneries à ciel découvert. Elles en sont mieux soignées ; elles ont le tems de mieux sécher : toutes les facilités que l'on possede alors tournent à l'avantage de leur construction.

Dans cette supposition, l'on donne assez communément 3 pieds de largeur et 6 de hauteur, sous clef, aux galeries magistrale, d'enveloppe et d'écoute. Elles ont 18 pouces d'épaisseur aux pieds-droits, qui posent sur 2 pieds ou 30 pouces de fondation en bon terrain, cette fondation ayant 3 pouces de retraite. La voûte, formée à plein cintre, a la même épaisseur, et doit, autant qu'il est possible, être construite en écharpe et recouverte d'une couche de ciment bien ciré.

Les croisieres ont 11 pieds de côté dans œuvre, la même épaisseur aux pieds-droits, et sont voûtés en arêtes. Il est bon de donner aux croisieres 1 ou 2 pieds d'élévation de plus qu'aux galeries, afin que la voûte, dont le cintre a plus de diametre, ne soit pas trop surbaissée. L'on peut au surplus réduire le côté des croisieres à 9 pieds.

2°. Mais s'agit-il d'ouvrir sous le glacis d'une place ou sous ses remparts, des contre-mines qu'il faut fouiller dans la terre, et de les coffrer d'abord pour les excaver et les maçonner seulement ensuite ; il est évident qu'il faut alors donner au coffrage la largeur et la hauteur nécessaires pour comprendre les dimensions hors œuvre de tous les travaux.

Ainsi le coffrage d'une galerie de 3 pieds sur 6 de hauteur dans œuvre, aura 6 pieds sur $7\frac{1}{2}$ hors œuvre; celui d'une croisiere de 11 pieds sur $7\frac{1}{2}$, en aura 14 sur 9 ; celui d'une croisiere de 9 sur $7\frac{1}{2}$ en aura 12 sur 9 ; et ainsi des autres constructions souterraines.

3°. S'agit-il enfin d'une galerie qui ne doit point être maçonnée, ou d'un rameau qu'on ne maçonne jamais, il est clair que le coffrage doit avoir, entre ses parois, les largeur et hauteur exactes que l'on veut donner à cette galerie ou à ce rameau.

Cette derniere espece de construction est sur-tout en usage dans les travaux souterrains pressés, que l'on fait dans l'attente d'un siege, soit dans une place non contreminée, soit pour ajouter à des travaux de contre-mines déja existans. C'est aussi la seule maniere de former les rameaux, qu'il est d'usage de n'ouvrir jamais que lorsqu'on a besoin d'en faire usage. C'est enfin la seule dont l'assiégeant lui-même puisse se servir lorsqu'il fouille le terrain et cherche à déjouer les contre-mines.

Dans les travaux très pressés, l'on peut retrancher

quelque chose à la hauteur des galeries en bois. De Lorme ne les élève que de $4\frac{1}{2}$ pi. ; mais il leur donne aussi $4\frac{1}{2}$ pi. de largeur, ce qui fait un peu plus de 20 pieds quarrés d'ouverture. Cormontagne leur donne 3 pi. de largeur sur 6 de hauteur ; c'est une surface moindre, mais plus avantageusement disposée pour la facilité des travaux et des communications.

L'assiégeant se contente quelquefois de leur donner 3 pieds de largeur sur 4 de hauteur ; mais plus il épargne sur le travail et les matériaux, plus il s'expose à manquer d'air pour aller en avant.

65. Quoi qu'il en soit, c'est d'après ces divers objets combinés avec d'autres considérations encore que l'on fixe la grosseur des bois de coffrage : ainsi, c'est, 1°. d'après la largeur et la hauteur du vuide de l'excavation ; 2°. d'après le plus ou moins de fluidité des terres ; 3°. d'après l'espece des bois que l'on peut se procurer sur les lieux ; 4°. d'après leur plus ou moins de cherté, car par-tout l'économie des dépenses doit être consultée.

Nous n'entrerons point ici dans de plus grands détails sur la maniere de combiner toutes ces données entre elles. La plupart sont encore la matiere de problêmes à résoudre. Telle est la poussée des terres d'une qualité donnée, vers un vuide de telle ou telle surface, et suivant le rapport de sa hauteur à sa largeur. Telle est la résistance d'une solive d'un bois déterminé, placée verticalement ou horizontalement, et pressée par la poussée des terres.

Bélidor et d'autres ont essayé des calculs sur cette matiere intéressante ; mais rien de satisfaisant, rien de complet n'est sorti de leurs combinaisons. Aucun surtout ne les a appliquées à la construction des galeries de mines, si j'en excepte Etienne, dont l'application n'est point heureuse.

Il faut donc, à cet égard, s'en rapporter encore à la seule expérience, et c'est sur elle que Cormontagne et de Lorme fondent les regles qu'ils présentent sur la grosseur des bois de coffrage.

Si la terre est de mauvaise consistance, dit Cormontagne, on donne 7 à 8 pouces aux bois des chassis, et l'on se sert de madriers au lieu de planches pour les revêtemens.

Cet auteur parle d'une galerie coffrant une maçonnerie projetée, c'est-à-dire des chassis de 6 pieds de largeur et de $7\frac{1}{2}$ de hauteur hors œuvre.

Cette sorte de chassis demande quelquefois à être soutenue sur la largeur par deux nouveaux montans paralleles à ses hauts côtés, et placés dans l'alignement intérieur des pieds-droits, contre lesquels on les pose en saillie de toute leur épaisseur. L'objet de ces renforts verticaux est d'éviter la rupture ou le ploiement des chapeaux, quand les terres sont très fluides et d'un grande élévation au-dessus de la galerie.

Dans ce même cas, l'on n'éloigne les chassis que de 3 pieds au plus de milieu en milieu.

Si les terres se soutiennent, ces mêmes chassis n'ont que 5 à 6 pouces de grosseur, et on les espace de 4 ou 5 pieds.

Quelquefois même on se contente de ne lambrisser que le ciel de la galerie. Chaque mineur peut aisément saisir les modifications qui conviennent aux circonstances dans lesquelles il se trouve.

La plupart du tems, la semelle d'un chassis peut être réduite à un madrier de 2 pouces d'épaisseur et de 6 de largeur, parce que c'est la partie de ce cadre qui a le moins de fatigue à supporter. Néanmoins cette piece a la même dimension que le chapeau, dans les travaux de ce genre qui doivent durer plusieurs campagnes et résister

résister à la pourriture, toujours très active sous terre, sur-tout dans des vuides où regne l'humidité.

De Lorme ne donne que 4 à 5 pouces de grosseur aux bois de ses chassis; ainsi l'on peut fixer à 6 pouces la moyenne grosseur de ces bois, et l'appliquer à des galeries de 3 pieds de largeur et de 6 pieds de hauteur, construites dans des terres d'une consistance moyenne.

Toutes ces différentes grosseurs établissent une sorte de regle générale qui consiste à fixer aux bois 1 pouce de grosseur pour chaque pied de hauteur de la galerie. La même regle est applicable aux rameaux qui, sur 3 pieds de hauteur, sont construits avec des chassis de 3 pouces de grosseur. Voyez les *fig.* 34, 35, 36 et 37.

Jusqu'ici nous n'avons pas parlé de la position des rameaux. Comme ils n'ont pour objet que la communication aux fourneaux, c'est la position de ceux-ci qui détermine l'emplacement et la direction de ceux-*là*. Commençons donc par discuter cette partie la plus importante de la science des mines, celle par rapport à laquelle toutes les autres ne peuvent être considérées que comme des moyens qui lui sont subordonnés.

CHAPITRE IV.

De la disposition des fourneaux des mines, contre-mines et fougasses, et de leurs rameaux.

65. LA disposition des fourneaux de contre-mines offre à l'imagination des mineurs un champ vaste dans lequel ils aiment à s'égarer pour créer des systêmes. Mais l'on peut dire de la plupart de ces systêmes, que plus ils sont profonds et compliqués, plus ils présentent,

sous ces rapports, les apparences de l'invincibilité; *moins ils sont militaires, moins* ils approchent du *véritable but pour lequel ils ont été combinés.*

Les bornes que je me suis prescrites dans cet ouvrage, *jointes au peu d'utilité réelle* de ces productions, qui ne peuvent être regardées que comme des jeux d'esprit, me déterminent à n'en point parler ici.

Cependant nous donnerons le système du triple rang de fourneaux de Valiere. Quoiqu'il appartienne encore à cette classe, il a le mérite d'être le plus simple; il est praticable à quelques cas particuliers, et généralement tous les théoriciens de la guerre souterraine se sont plû à le consigner dans leurs ouvrages.

66. Dans le système de vauban et de valiere, où les fourneaux enlevent une circonférence de terrain d'un rayon égal à la ligne de moindre résistance, c'est à cet effet qu'il faut rapporter l'espacement des fourneaux, en le combinant avec celui que l'on veut produire par leur ensemble.

La regle que Cormontagne suit à cet égard, est de n'éloigner les centres des fourneaux entre eux, que d'une fois et demie la longueur de moindre résistance. Alors les entonnoirs se recroisent d'une quantité égale à la moitié de cette même ligne, et toute la surface du terrain au-dessus des fourneaux est nécessairement enlevée.

Nous allons établir une théorie plus génerale, applicable à tous les systêmes et à toutes les circonstances; mais avant de passer à notre exposé, nous avons besoin d'une proposition préparatoire.

LEMME.

Deux droites fg, dg (fig. 40, 41 et 42.), *situées dans un même plan vertical, étant données de position par*

rapport à une ligne horizontale fh *ou* di, *située avec elles dans ce même plan, couper ces lignes par une troisieme* cb, *qui fasse avec l'une d'elles* fg, *prolongée s'il est nécessaire, un angle donné* kcb, *et qui se trouve en même tems située par rapport à un point quelconque* d, *pris sur l'autre droite* dg, *aussi prolongée s'il est besoin, de maniere que la distance* db *de ce point à celui d'intersection* b *de la sécante avec cette derniere, soit égale à la distance* bc, *de ce même point d'intersection* b, *à celui* c, *où la sécante coupe la premiere* fg *de ces droites.*

SOLUTION.

67. Ce problême présente trois cas différens selon la situation des lignes *fg*, *dg*, l'une par rapport à l'autre: elles sont paralleles entre elles, ou bien convergentes, ou divergentes, par rapport au point donné *d*.

1er. Cas. *Si les lignes* fg, dg, *sont paralleles entre elles* (fig. 40.), l'angle *kcb* étant donné, et de plus égal à *cbd*; si l'on tire *dc*, l'on a $180^\circ - kcb = bcd + cdb$. Mais puisque $bd = bc$, l'on a $bcd = cdb$; donc $cdb = \frac{180^\circ - kcb}{2}$; donc *il faut retrancher l'angle donné* kcb *de* 180°, *et prendre la moitié du reste, pour avoir l'angle que forme la droite* dc, *menée du point donné* d, *au point d'intersection* c *de cette droite avec celle* dg.

Cela posé, du point donné *d* tirez une droite indéfinie *dc*, de maniere qu'elle fasse avec la ligne *dg* l'angle *cdb* que vous venez de trouver, et par le point *c* où elle coupera l'autre droite *fg*, menez la sécante *cb* de maniere qu'elle fasse avec *fg* l'angle demandé *kcb*; il est clair que vous aurez $bd = bc$.

2e. Cas. *Si les lignes données* fg, dg, *sont convergentes* (fig. 41.) *par rapport au point* d, soit menée par ce point une droite *di*, qui forme avec celle *dg* un angle

idg, du nombre de degrés connu (par hypothese), dont dg est inclinée à l'horizon ; et par le même point d, soit élevée une perpendidulaire df, qui coupera la ligne fg en un point f, par lequel je mene une seconde ligne horizontale et parallele à di, formant avec fg un angle hfg égal au nombre de degrés connu (par hypothese), dont fg est aussi inclinée à l'horizon. Si des deux angles droits hfd, idf, je retranche respectivement les deux angles donnés hfg, idg, je connoîtrai les deux angles gfd, gdf, et conséquemment aussi l'angle fgd, ou cgb; l'angle gcb ou kcb étant donné par l'énoncé du problême, j'ai $cbg = 180° - (cgd + kcb)$. Mais si je tire la ligne dc, il en résulte cette seconde égalité $cbg = cdb + bcd$, conséquemment aussi celle-ci $cdb + bcd = 180° - (cgd + kcb)$; et comme l'on a, par hypothese, $cdb = bcd$, puisque $db = bc$, en prenant la moitié de chacun des termes de l'égalité précédente, il en résultera celle-ci, $cdb = \frac{180° - (cgd + kcb)}{2}$, c'est-à-dire que, dans ce cas, *la droite menée du point donné* d *au point d'intersection* c, *fait, avec la droite* dg, *un angle égal à la moitié de la différence qu'il y a entre la somme de deux angles droits, et celle composée de l'angle donné* kcb, *et de celui* cgd *formé au point de concours* g *des lignes convergentes* fg, dg.

L'angle cdb étant connu, déterminez la position de la sécante cb comme dans le cas précédent.

3e. Cas. *Si les lignes données* fg, dg *sont divergentes* (fig. 42.) *par rapport au point* d, l'on connoîtra, comme dans le cas précédent, l'angle fgd ou cgb. Si l'on tire ensuite la ligne dc, l'angle cbd étant commun aux deux triangles bcg, bcd, l'on aura $cdb + dcb = gcb + cgb$. Mais $gcb = 180° - kcb$; donc $cdb + dcb = 180° - kcb + cgb$ ou cgd; et comme $cdb =$

dcb à cause de $db = bc$, en prenant la moitié de chaque membre de la précédente égalité, l'on parvient à celle-ci $cdb = \frac{180^\circ - kcb + cgd}{2}$. C'est-à-dire que, dans ce cas, *l'angle formé par la ligne menée du point donné* d *au point d'intersection* c, *avec la ligne* dg, *est égal à la somme de deux angles droits, et de celui formé au point de concours des deux droites divergentes* gf, gd, *diminuée de l'angle donné* kcb, *puis divisée par 2.*

Il ne s'agit donc pour les deux derniers cas, que de connoître l'angle formé au point g de concours des deux lignes fg, dg, données de position.

68. Il résulte de ce problême que, si l'on connoît la perpendiculaire fd (fig. 40, 41 et 42.), l'on peut aussi connoître le côté fc du triangle dfc; car l'angle cfd ou gfd est connu (N°. 67.): les angles gdf et bdc le sont également, et donnent par leur différence celui fdc, d'où il suit que l'on peut résoudre le triangle fdc, et trouver le côté fc.

69. *Si du point b l'on mene à fg la perpendiculaire* be, il sera également facile d'en déterminer la longueur. En effet, la résolution du triangle dfc donne le côté dc, et mene à la résolution du triangle cdb, dans lequel tous les angles sont connus (N°. 67.), ce qui détermine d'une part la distance db, du point donné d au point d'intersection b; de l'autre, la portion bc de la sécante comprise entre les deux droites fg, dg: or bc étant connue, ainsi que l'angle droit ceb, et l'angle donné kcb ou ecb, l'on a dans le triangle cbe, tout ce qu'il faut pour trouver la perpendiculaire be.

Cette théorie va recevoir une utile application à la disposition des fourneaux de mine.

PROBLÊME.

Disposer un ou plusieurs rangs de fourneaux sous un glacis, de manière que l'effet n'endommage pas son parapet, ni les galeries magistrale et d'enveloppe, et que les fourneaux se trouvent séparés d'une fois et demie la longueur de la ligne de moindre résistance.

SOLUTION.

69. Nous avons vu (No. 44.), d'après Cormontagne, que les fourneaux des mines doivent être éloignés des objets que leur effet ne doit pas atteindre, d'une distance égale à une fois et demie la ligne de moindre résistance. Ce principe applicable aux charges de Valiere et de Vauban, parce que cette longueur excede alors, dans tous les cas, le rayon d'activité, ne l'est néanmoins pas au système des surcharges, puisque l'effet de celles-ci s'étend jusqu'à une distance quadruple de la même ligne.

Rapportons donc ici ce procédé à un énoncé plus généralement exact, en observant que, dans toutes les hypotheses, l'éloignement ab du fourneau (*fig.* 43.) à la galerie A qu'il doit respecter, sera suffisant, s'il est un peu plus grand que le rayon d'activité de la charge, c'est-à-dire, que la ligne bc, menée du centre de ce fourneau au grand cércle de l'entonnoir.

ad me représentant l'épaisseur des pieds-droits de la galerie magistrale, je fais $ab = ad + bc$, ce qui donne $db = dc$.

Si par le point d j'éleve la perpendiculaire df, jusqu'à ce qu'elle rencontre le prolongement du glacis en un point f, il est évident que la solution du problême se réduit, à l'égard de la figure 43, à tous les procédés et à la démonstration du 2e. cas du Lemme, No. 67,

pour avoir le point *b*, qui marque au profil, sur le sol de la communication *a h*, la ligne parallele à la magistrale *A*, sur laquelle on peut établir un rang de fourneaux dont l'effet ne s'étendra que jusqu'au point *d*, pris en dehors de l'épaisseur de la maçonnerie de son pied-droit.

Si le plan du glacis et le sol de la communication *ah* étoient paralleles, la solution du probléme résidoit dans celle du 1er. cas du lemme cité; et si le glacis *fg* étoit un glacis de revers, c'est-à-dire, en pente de *g* vers *f*, cette même solution se trouveroit dans le 3e. cas de la même proposition.

Lorsque la galerie d'enveloppe *B* est donnée, l'angle *lsi* est facile à trouver; car l'angle *lis* est égal à l'angle connu *k b i*, qui, dans notre hypothese, est le complément de *c b d*, ou de 50° 35′, complément qui est de 39° 25′. Ainsi, $lsi = \frac{140° 35'}{2} = 70° 17' 30''$. Le 3e. cas du lemme (N° 67.) eût également donné ce résultat, par lequel on voit que l'angle *lsi* est constamment égal à l'angle *d c f*. Sous ce rapport, le point *i* marque l'emplacement d'un second rang de fourneaux parallele à cette galerie, et la portion *mk* dont les entonnoirs des deux rangs de fourneaux se recoupent, dépend de la distance *AB*, qui détermine celle *bi*, des deux rangs de fourneaux.

Mais quand il s'agit au contraire d'établir l'enveloppe *B*, on détermine sa position d'après le système qu'on juge le meilleur pour l'espacement *b i* des fourneaux.

A ce dernier égard, les circonstances différentes peuvent faire prendre des partis différens. Voici les considérations essentielles auxquelles on peut s'attacher.

1°. S'agit-il de contre-miner beaucoup d'ouvrages, qui consommeroient trop de poudre par un système trop serré dans l'espacement des fourneaux; ou bien

s'agit-il des contre-mines d'une petite place qui ne sera pas toujours très abondamment approvisionnée de cette matiere, il faut alors s'en tenir au plus grand espacement, que l'on peut fixer en général de maniere à ce que les entonnoirs des deux fourneaux, au lieu de se recroiser, se trouvent séparés d'une quantité $kn = \frac{be}{2}$, prise sur la ligne qui joindroit les centres des fourneaux, comme si le côté *mi*, du second rang de fourneaux, étoit transporté en *no*, et que le point *o* fût le centre du fourneau précédemment placé en *i*. Il est évident alors qu'avec moins d'entonnoirs l'on embrasse plus d'espace.

2°. Peut-on au contraire compter sur un approvisionnement suffisant, et s'agit-il d'une place de moyenne grandeur, ou d'une médiocre étendue de mines qui ne jetteroit pas dans une dépense excessive de poudre, l'on peut alors prendre un systême moyen d'espacement, en disposant les entonnoirs de maniere à se toucher comme si le côté *mi* du second rang de fourneaux étoit transporté en *kp*, et que le point *p* fût le centre du fourneau précédemment placé en *i*.

3°. Des approvisionnemens plus abondans, calculés sur une place d'un plus grand degré d'importance encore, justifient le placement du second rang de fourneaux au point où l'on auroit un recroisement $mk = \frac{eb}{2}$ ou $\frac{ri}{2}$.

4°. Enfin, la faculté de disposer d'une grande masse de poudre pour la guerre des mines, une place du premier rang, quant à sa grandeur et à son importance militaire et politique, justifieroit le systême de quelques mineurs qui font recroiser les entonnoirs de toute la grandeur d'un rayon, c'est-à-dire, comme si le côté *mi* du second rang de fourneaux étoit transporté en *eq*,

qui passe par le centre de l'entonnoir du premier, et que le point *q* fût le centre du fourneau précédemment placé en *i*.

Dans ces quatre cas différens, l'on voit que la position de la galerie d'enveloppe *B* se rapproche ou s'éloigne de la magistrale *A*, et que l'on pourroit encore la faire varier en admettant entre *AB*, trois rangs de fourneaux au lieu de deux, ou bien le système des surcharges.

Quel parti que l'on prenne d'après les données que je viens d'établir, la galerie *B* sera toujours facile à déterminer, une fois que l'on connoîtra le point *i*, par où passe le rang de fourneaux le plus rapproché d'elle ; car alors il ne s'agira que de trouver le rayon *rl*, de tirer *il*, et de décrire du point *i* comme centre, l'arc *ls*, qui coupera le sol de la communication *ah* en un point *s*, en dehors duquel vous éleverez les pieds-droits de la galerie en question.

Quant à l'espacement des fourneaux placés sur une même ligne, représentée au profil (fig. 43.) par les points *b*, *i*, précédemment déterminés, il se regle d'après les mêmes principes, c'est-à-dire que les entonnoirs peuvent être séparés, se toucher, se recroiser de moitié ou de toute la longueur d'une ligne de moindre résistance.

Une remarque qu'il ne faut jamais négliger, c'est qu'en général le système du recroisement des entonnoirs produit un meilleur effet quand l'explosion de tous les fourneaux doit se faire en même tems, que lorsque les effets doivent se succéder. Car, il est évident que si l'entonnoir *cbk* est formé avant l'entonnoir voisin *nil*, la partie *mtk* de terres manque déja dans ce dernier ; alors l'équilibre des résistances est détruit : la ligne de moindre résistance du fourneau *i* n'est plus la perpendiculaire *ir*, mais un oblique *iu*, tirée du centre *i* au point *u* pris sur *tk*, immédiatement

au-dessus du point t de recroisement des deux entonnoirs. Il résulte de-là qu'une partie de l'effet du second entonnoir soufle dans le premier, que cet effet est irrégulier, et laisse subsister le terrain sur une partie du rayon rl, quoique la charge soit alors surabondante pour achever l'entonnoir total mil. Il y a donc dépense superflue de poudre et perte d'effet.

Pour les effets successifs, presque toujours les plus avantageux, il convient donc de préférer le systême des entonnoirs non recroisés.

Toutes ces considérations posées, poursuivons la solution matérielle du problême, en admettant d'abord l'hypothese de l'espacement d'une fois et demie la ligne de moindre résistance, et la formation des entonnoirs selon Vauban et Valiere; c'est-à-dire que l'angle $kcb = 45°$. Supposons aussi la pente du glacis de 6 pouc. par toise, et celle de la galerie de communication à h d'un pouce aussi par toise. Enfin, admettons 20 pieds de contrescarpe, 8 pieds d'élévation à la crête du glacis au-dessus d'elle, et 6 pieds d'enfoncement du sol de la magistrale au-dessous du niveau du fossé. Il résulte de ces dimensions que le point x, où la verticale df rencontre la ligne horizontale qui passe par la crête v du glacis, est de 34 pieds.

D'après ces données, et la similitude des triangles zvk, et xvf, puisque $zk = \frac{vz}{12}$, l'on aura $fx = \frac{vx}{12}$. Or, la galerie ayant 3 pieds de largeur, et ses pieds-droits chacun 18 pouces, il est clair que $vx = 4$ pieds, conséquemment que $fx = \frac{4^{\text{pi.}}}{12} = 4$ po., et $df = 34^{\text{pi.}}\ 4^{\text{po.}}$

En appliquant ici ce que nous avons dit N°. 66 et 69, l'on trouvera que $fc = 15^{\text{pi.}}\ 1^{\text{po.}}$, que $dc = 36^{\text{pi.}}\ 4^{\text{po.}}$, que db ou $cb = 42^{\text{pi.}}\ 6^{\text{po.}}$, et que la ligne de moindre résistance be, ou le rayon $ec = 30^{\text{pi.}}\ 1^{\text{po.}}$ L'on trouvera

enfin que $fv = 4^{pi.}$, et conséquemment que $fc - fv$ ou vc, qui est la distance de la crête du glacis au plan incliné cb, est égale à 11 pi. 1 po., et que ve, qui est la distance de la même crête au centre de l'entonnoir pris sur le plan du glacis, est de 41 pi. 2 po.

Il est facile de calculer de même la disposition de l'entonnoir mil; car la position de l'enveloppe étant donnée, l'on connoît sa distance sd à la magistrale, et comme l'on connoît aussi l'éloignement du point de concours, c'est-à-dire les côtés fg, dg', l'on peut trouver la verticale sf', qui servira de base au calcul de toutes les autres lignes.

En supposant $ds = 20$ toises ou 120 pieds, les triangles étant résolus donnent : $sf' = 22$pi. 7pou. ; $f'l = 8^{pi.}\ 9^{po.}$; $sl = 24^{pi.}\ 11^{po.}$; is ou $il = 37^{pi.}$; ir ou $rl = 26^{pi.}\ 2^{po.}$; $ib = 40^{pi.}\ 6^{po.}$; $vf' = 113^{pi.}\ 5^{po.}$; et enfin $mk = 18^{pi.}\ 11^{po.}$ Nous avons donc toutes les données possibles pour tracer au plan comme au profil, sur le sol des gâleries et sur le glacis, la disposition des fourneaux.

Pour tracer leur effet sur ce dernier plan, tirons (fig. 44.) deux paralleles ab, cd, distantes l'une de l'autre d'une quantité égale à vf' (1) ; l'une me représentera la crête du glacis, l'autre le nû du pied-droit de l'enveloppe B (fig. 43.). Si l'on mene ensuite à ces deux lignes les deux nouvelles paralleles ef, gh, l'une distante de la crête ab, d'une quantité égale à ve, l'autre distante de la même ligne, d'une quantité égale à vr; ces deux lignes représenteront celles qui passent respectivement par les centres e, r, des grands cercles des entonnoirs.

Il ne s'agit donc plus que d'espacer sur ces lignes les

(1) La figure 44 est construite sur une échelle moitié de celle du profil fig. 43.

centres entre eux, suivant le systême que nous voudrons adopter à l'égard de leur séparation.

S'il existe une communication *bfh*, qu'il faut ménager, il est nécessaire de placer le premier fourneau *B*, de maniere que l'on ait $Bk = Bi$, puis l'on porte sur *fe*, les grandeurs *BC*, *CD*, *DE*, etc. égales entre elles et à la longueur fixée pour la séparation des fourneaux, laquelle nous supposons ici égale à une fois et demie la ligne de moindre résistance, c'est-à-dire à 45 pi. 1 po. 6 lignes; de cette sorte les points *B*, *C*, *D*, *E*, etc. sont les centres des entonnoirs placés sur cette ligne.

Si l'on veut placer les fourneaux du second rang, de maniere qu'ils tombent vis-à-vis le milieu de ceux du premier, pour former les triangles réguliers ou trefles *BGC*, *CHD*, *DIE*, etc., il ne s'agira que d'élever sur le milieu des lignes *kB*, *BC*, *CD*, *DE*, des perpendiculaires qui couperont la ligne *gh*, en des points *F*, *G*, *H*, *I*, lesquels seront les centres des entonnoirs situés sur cette ligne.

Rien n'empêcheroit de placer les centres des deux rangs de fourneaux, vis-à-vis les uns des autres, comme on les voit dans la figure 45, où l'on a aussi supprimé le recroisement; et l'on conçoit que l'on peut de l'une ou de l'autre maniere border de fourneaux de contre-mines tout un front de fortification, sans que ce procédé puisse présenter de nouvelles difficultés; et que, dans leur position, ces fourneaux rempliront toutes les conditions du problême.

REMARQUE.

70. Par la seule inspection de la figure 44, l'on voit que l'arrangement des mines en trefle, présente des inconvéniens, lorsqu'il s'agit de les établir dans des quar-

rés formés par les galeries magistrale et d'enveloppe et par les communications. Les deux premieres sont garanties en suivant la méthode que nous avons indiquée N°. 69; mais pour préserver de même de l'effet des fourneaux les communications, l'on est forcé de supprimer sur la premiere ligne *ef*, les fourneaux *A* et *D*, ensorte qu'il ne resteroit que ceux *B* et *C*. La position de celui *G* sur la seconde ligne *gh*, exclut les deux autres *F*, *H*, qui seroient trop rapprochés des communications; d'où il suivroit que de grands espaces resteroient intacts au-dessus de chaque cadre de galeries, le seul trefle *BCG* pouvant subsister.

Pour éviter cet inconvénient majeur, il paroît donc que, dans ce cas, il faut préférer de placer les fourneaux des deux lignes, les uns par rapport aux autres, sur des paralleles aux communications, si cela se peut par le tracé de celles-ci, ou dans un ordre quelconque propre à embrasser le plus de terrain possible : dans la figure 44, si le fourneau *G* étoit placé vis-à-vis de celui *C*, et le fourneau *F* vis-à-vis celui *B*, l'on y gagneroit l'effet d'une mine, et les entonnoirs se recroiseroient également quoique d'une autre maniere.

Si l'on vouloit au contraire, dans un systéme d'encadrement déja établi, ne point avoir égard à quelques communications, et se réserver seulement la possession de celles des extrémités, que l'on regarderoit comme suffisantes pour passer de la majeure dans l'enveloppe, ou bien s'il n'existoit point de communications intermédiaires, ou bien enfin si l'on établissoit soi-même le système des galeries ; alors la disposition des fourneaux en trefles avec des entonnoirs recroisés, contigus ou séparés, présente sur le parallélisme l'avantage d'un plus grand espacement des fourneaux ; avantage qui n'est point à négliger, sur-tout quand l'effet des mines doit

être successif, parce que les premieres auxquelles on met le feu endommagent et ébranlent fréquemment l'étrésillonnage, ou le saucisson des autres, quand ils en sont trop rapprochés. Cette remarque convient sur-tout aux mines plus ou moins recroisées.

Mais dans le cas où l'on se détermine à sacrifier certaines galeries de communication, celle *Dg*, par exemple, l'on ne peut plus alors la considérer que comme un rameau, et l'on est forcé de la combler non seulement sur la longueur nécessaire de part et d'autre pour le bourrage du fourneau *D* creusé dans son sol, mais encore sur l'espace que demande l'effet des fourneaux voisins *I*, *H*. Nous verrons à l'article particulièrement consacré à ces précautions, comment l'étendue du comblement des galeries et des rameaux doit être déterminée : en attendant, il est visible qu'il vaudroit mieux alors que les communications fussent de simples rameaux, parce que, devenus inutiles à l'objet de leur établissement, qui est la liberté de la circulation et la facilité d'observer et d'environner l'ennemi, elle ne présentent plus que l'inconvénient du remplissage d'un vuide de 3 pieds de largeur sur six de hauteur ; opération très longue, très coûteuse en matériaux, et qui peut devenir incertaine et faciliter le souflement des fourneaux, par la difficulté de rendre le comblement suffisamment solide.

71. La figure 45 représente un cadre de galeries de mines isolé *abcd*, dont les entonnoirs se touchent, et dont les fourneaux sont vis-à-vis les uns des autres et disposés de maniere à n'endommager ni les galeries majeure et d'enveloppe *ad*, *bc*, ni les communications *ab*, *dc*. L'on voit que, dans ce systême, le dessus de chaque communication présente un espace non miné de la largeur de plus d'une ligne de moindre résistance, et

que le milieu *e* se trouve également libre. Mais il ne faut pas penser pour cela que l'ennemi s'y trouveroit à l'abri, quand même il pourroit s'y placer, ni qu'il soit certain, pour cela, après la premiere explosion, que les principales mines sont épuisées ; moins encore qu'il peut s'établir sur la direction des galeries de communication pour cheminer vers la place, sans y rencontrer au moins des fougasses, dont la profondeur peu considérable, peut facilement être combinée avec la conservation de ces galeries. Quant à l'espace *e*, il ne peut lui servir de rien, car tous les objets qui s'y trouveroient, seroient aussi bien anéantis à ce point qu'aux centres mêmes des fourneaux qui l'entourent.

72. C'est parce que les petits espaces laissés entre les entonnoirs ne sont pas moins défendus que les entonnoirs eux-mêmes, et parce qu'il est important d'embrasser par l'effet des mines, le plus d'espace avec les moindres moyens possibles, que je préférerois en général le systême des entonnoirs séparés d'une demi-ligne de moindre résistance. Il est vrai, cependant, que l'effet recroisé, lorsqu'ils est successif, participe en quelque sorte de celui des mines à plusieurs étages, en faisant sauter les mêmes points plusieurs fois, et trompant ainsi la sécurité de l'ennemi qui s'établit dans les entonnoirs et les fait fouiller pour tâcher de s'introduire dans les galeries. Aussi, ai-je établi précédemment que cette méthode avoit de grands avantages, quand l'on n'est pas réduit à des moyens trop étroits. D'après les observations que j'ai faites et les principes que j'ai établis, chaque officier du métier peut saisir aisément le parti qui convient le mieux aux circonstances dans lesquelles il se trouve.

Le prolongement *ce*, de la communication *dc*, est une galerie d'écoute, défendue des deux côtés par une

rangée de fourneaux disposés comme ceux de l'encadrement. C'est ici sur-tout que le recroisement des entonnoirs est sans objet. Il n'est point question d'enlever un logement, une tranchée, d'opérer un effet contigu, mais seulement de surveiller le travail du mineur assiégeant, et de pousser sur lui des fougasses et des camouflets.

Je suis donc d'avis que les écoutes ne doivent être bordées que de fourneaux à entonnoirs séparés, et je voudrois porter ici cette séparation à une ligne entiere de moindre résistance, afin d'économiser et le tems et les matériaux. Je voudrois encore qu'ils ne fussent chargés que dans le moment où l'on seroit assuré que tel ou tel fourneau peut produire un effet utile ; car il est plus important qu'on ne pense d'éviter de mettre le feu au hazard à des fourneaux que l'on regarde à tort comme sans conséquence. Toute mine qui a sauté appelle le mineur ennemi, et l'invite à fouiller pour tâcher de trouver un rameau, de le suivre et de découvrir la position des galeries afin de les crever. L'on ne doit donc risquer une explosion inutile que comme un appât, et dans le dessein de veiller d'assez près l'entonnoir, pour le faire servir de tombeau à celui qui viendroit s'en emparer.

Le grand cercle ponctué de la figure 45, montre que l'on pourroit faire sauter le terrain du milieu par un fourneau de même grandeur, et qui recroiseroit à la fois les quatre entonnoirs des premiers. Les petits cercles qui entourent les grands entonnoirs, marquent les fougasses dont on peut se servir pour multiplier les effets autour d'eux, et produire des surprises successives à l'ennemi. Ces fougasses pourroient être telles que, sans endommager les galeries, quoique placées au-dessus d'elles, leurs entonnoirs recroiseroient ceux des grandes mines.

mines, ensorte que l'ennemi seroit cinq fois inquiété sur le terrain qu'elles embrassent, si l'explosion s'en faisoit successivement.

La figure 46 représente un encadrement et un écoute dans lesquels les entonnoirs sont séparés d'une demi-ligne de moindre résistance. La figure 47 est un trefle disposé selon le même espacement. La figure 48 est un trefle dont les entonnoirs sont contigus.

L'on fait aussi des trefles à entonnoirs recroisés, dont trois fourneaux *B, F, G*, de la figure 44, peuvent donner l'idée.

Les trefles se placent ordinairement sur les saillans, parce qu'ils en ont la figure, et qu'à l'aide d'un seul rameau *ab*, fig. 47 et 48, l'on peut, d'un point central commun *a*, communiquer aux trois fourneaux. Cette construction est excellente pour les contre-mines en charpente, que l'on est obligé de construire avec promptitude devant une place ou des ouvrages détachés qui n'ont point de galeries ni de systême préparés.

Je n'entre pas ici dans tous les détails de l'établissement de ces fourneaux isolés, ou à établir d'après un systême de galeries déja existantes, ni dans celui de l'espacement des galeries, quand on peut les assujétir à un systême de fourneau déterminé; ce que j'ai dit précédemment s'applique à tous les cas, et je suis forcé d'abréger cet essai, duquel, je le répete, je ne puis en ce moment faire un Traité complet des mines.

Du systême des mines en surcharge.

73. Il faut dire un mot des mines en surcharge, quand ce ne seroit que pour satisfaire toutes les opinions.

L'espacement des fourneaux de cette espece de mine dépend, comme dans celles des systêmes de Vauban et

de Valiere, du rapport de la ligne be de moindre résistance, *fig.* 49, au rayon bc d'activité de la charge.

Si, comme Bélidor le prétend, ce rapport doit être fixé à celui de 1 à 4, l'angle kcb, donné dans le problême, N°. 67, et qui est de 45° lorque la charge est telle qu'on a $be = ec$, sera de 14° 28′ 40″ à-peu-près. En faisant donc entrer cette seule différence dans la solution générale du problême cité, il en résultera la connoissance de fc, db, be, ec, dans tous les cas que l'on voudra supposer, relativement à l'inclinaison du plan fg du glacis, et du sol dg de la galerie de communication, sur le niveau de laquelle l'on se propose d'établir un ou plusieurs rangs de fourneaux surchargés.

L'on voit ainsi que tout ce que nous avons appliqué à l'espacement des entonnoirs de Vauban, s'applique également à celui de cette nouvelle espece de mine.

Il en résulte que si $be = 12$ pieds, l'on aura $ck =$ 93 pi., et conséquemment que si les galeries A, B, (fig. 43.) étoient séparées de *neuf* fois $be = 108$ pi., tout le glacis comprisentre elles pourroit sauter à l'aide d'un seul fourneau en surcharge, qui, placé au centre, ne laisseroit subsister de part et d'autre que 11 pieds de terrain intact entre les perpendiculaires df, sf', c'est-à-dire seulement 7 pi. sur le glacis, puisque $fv = 4$ pi.; ainsi l'on auroit $vc = 3$ pi. 6 po., et $f'l = 3$ pi. 6 po.: effet extrêmement simple et très avantageux sous ce rapport, puisqu'il réduit à un seul fourneau par cadre tout le systême des contre-mines.

Observons d'après cela, que si, les galeries A, B, étant toujours à la même distance l'une de l'autre, je veux dire ici à 93 pi., le sol de la communication dg étoit établi plus bas, en hi, par exemple, il faudroit, en se donnant ck, déterminer eb et bc, pour établir le fourneau au point b, pris au-dessus de ladite communi-

cation; d'où résulteroit la nécessité d'y communiquer par un rameau construit en rampe, qui remonteroit d'une quantité exprimée par bL, à partir du point l, qu'on détermineroit aisément en faisant $hl = db$.

L'établissement de plusieurs fourneaux de cette espece placés de maniere à former des entonnoirs contigus, recroisés ou séparés d'une quantité proportionnelle à la ligne de moindre résistance, ou à toute autre grandeur donnée, ne demande aucun détail qu'on ne puisse déduire de ce que nous avons dit des fourneaux ordinaires.

Deux remarques doivent encore trouver place ici, parce que nous les avons oubliées à leur véritable place. 1°. Bélidor prescrit de multiplier la ligne de moindre résistance des fourneaux en surcharge par trois, puis de prendre autant de quintaux de poudre pour en avoir la charge, ensorte qu'un tel fourneau placé à 12 pi. de profondeur, doit être chargé de 3600 livres de poudre. Cette regle est évidemment fausse quand il s'agit de produire des entonnoirs semblables, c'est-à-dire dans lesquels l'on ait constamment $be : ce :: 24 : 93$.

En effet, par l'application de cette regle, les charges seroient entre elles comme les lignes de moindre résistance, tandis que nous avons prouvé qu'elles sont au contraire dans la proportion de leurs cubes. Ainsi Bélidor trouveroit pour une surcharge de 24 pi. de ligne de moindre résistance, 7200 liv. de poudre, tandis que la vraie proportion exigeroit qu'elle fût de 28 800 liv. Cet auteur trouveroit, pour 6 pi. de profondeur, 1800 liv. de poudre, tandis que la regle n'en demanderoit que 900 liv.; résultats trop différens pour être substitués l'un à l'autre. Il suppose donc, en prescrivant cette mesure constante, que les proportions des entonnoirs changeront. Pour appliquer sa méthode à un systême

de contre-mine quelconque, il faudroit donc se former une table des entonnoirs résultans de ses principes, pour trouver dans tous les cas les données nécessaires. Mais ce calcul doit être différé jusqu'à ce que de nouvelles expériences en aient mieux éclairé la théorie.

2°. Un fourneau ordinaire, selon Valiere, exige, à 12 pi. de profondeur, 162 livres de poudre. Le même fourneau disposé en surcharge, en demande 3600 selon Bélidor: ces charges sont donc entre elles à-peu-près comme 1 à 22 $\frac{1}{2}$; c'est-à-dire que de la charge d'un seul fourneau de la derniere espece, l'on peut faire au moins 22 charges de fourneaux de la premiere. Mais, dans les deux hypotheses respectives, les diametres des entonnoirs sont de 93 pi. et 24 pi., pour la même ligne de moindre résistance, ayant 12 pi. de longueur; c'est-à-dire que ces diametres sont entre eux à-peu-près comme 1 est à 3 $\frac{7}{8}$ ou à 4, si l'on veut ici, pour la commodité de la comparaison, négliger une petite fraction. Ainsi les surfaces des grands cercles seront dans le rapport de 1 à 16; ce qui prouve qu'il ne faut que 16 fourneaux de l'un des systêmes pour enlever le même terrain qu'enleveroit un fourneau de l'autre. Or, puisque celui-ci exige 22 charges de ceux-là, il y a donc pour le fourneau de surcharge un surcroi de consommation, qui établit entre les dépenses de cette matiere, dans les deux cas, la proportion de 8 à 11.

Mais s'il faut à-peu-près moitié plus de poudre dans le dernier cas que dans le premier; aussi faut-il 16 fois moins de longueur de rameaux, conséquemment 16 fois moins de tems et d'autres matériaux pour l'exécution : avantage bien capable de compenser l'autre, sur-tout si l'on y joint celui de la plus grande difficulté qu'éprouveroit l'ennemi pour la découverte et la compression d'un fourneau unique au lieu de 16, dont les chambres

et les rameaux traverseroient en tous sens, sous terre, le même espace. Il est vrai cependant que s'il découvre l'unique point dangereux, il n'a plus rien à redouter, tandis que dans l'hypothese de la pluralité, il est à croire qu'il n'échappera pas à *tous* les effets partiels ; enfin il est également vrai que le grand avantage des explosions successives, ne peut appartenir qu'à cette même hypothese.

Dans le choix de ces moyens, tout dépendroit donc des circonstances selon lesquelles chacun peut tour-à-tour paroître préférable à l'autre : sur ce point l'intelligence du lecteur ne peut plus avoir besoin de guide.

Nous pourrions encore proposer ici différens problêmes intéressans sur l'espacement des fourneaux placés sur un ou deux rangs, au niveau ou au-dessus des galeries, mais nous renvoyons cette matiere avec nombre d'autres objets, au Traité complet que nous nous proposons de donner dans un moment moins pressé. Je passe aux mines à plusieurs étages, qui appartiennent encore à ce chapitre.

Du systême des contre-mines à trois étages.

74. Le systême des contre-mines à trois étages est de Valiere. Notre maniere de traiter ces mines sera inverse de celle de cet auteur : nous appellerons *premier étage des mines* l'étage le plus bas, *second étage* celui du milieu, et *troisieme étage* celui qui se trouve le plus élevé ; et c'est dans cet ordre que nous en établirons les fourneaux. La raison de ce procédé tient moins à l'ordre de la dénomination, qui se trouve ainsi plus réguliere, qu'à l'avantage qui résulte de soumettre l'espacement des fourneaux les plus enfoncés, à une ligne de moindre résistance donnée *be* (fig. 43.), et de combiner les étages supérieurs par rapport à la disposition de celui-ci, plutôt

que de se donner arbitrairement une ligne de moindre résistance de 10 pieds pour l'étage le plus élevé, puis d'assujétir à la profondeur et à l'espacement de ces fourneaux, la fixation des fourneaux les plus bas, au risque de les placer beaucoup plus bas que les galeries, et d'y attirer les eaux, ou de se trouver plus haut qu'elles, et de diminuer ainsi, sans objet, le diametre des plus grands entonnoirs.

Du premier étage des fourneaux.

75. Nous avons vu, N^os^. 67, 68 et 69, comment on détermine les fourneaux *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, du premier rang, sur une ligne *ef* (fig. 44.) représentée au profil, fig. 43, par le point *b*, et qui est la ligne de rencontre du plan *ah*, de la communication, avec un plan *cb*, qui forme un angle *kcb* de 45° avec le plan *vg* du glacis, plan que l'on suppose passer parallèlement à sa crête par le point *c*, pris à une distance connue *vc*, telle que l'on a $db = bc$.

Cela posé, l'espacement des fourneaux ayant été fixé à $\frac{3\,be}{2}$, et leurs centres ayant été marqués sur la ligne *ef* (fig. 44.), tirez une ligne *ab* (fig. 50.), égale à la ligne *ef*, ou à une partie de cette ligne, et disposez sur elle les fourneaux *A*, *B*, *C*, etc. à la même distance l'un de l'autre, exprimée par $\frac{3\,be}{2}$. Menez à *ab*, une parallele *cd*, éloignée d'elle d'une longueur égale à *bc*, fig. 43; il est évident que la figure *abdc*, représentera le plan indiqué par *bc* au profil, et par *elmk* au plan (1). C'est ce premier plan que Valiere appelle *le plan des fourneaux.*

(1) La figure 50 est tracée sur la même échelle que celle 44, moitié de l'échelle de la fig. 43.

Du second étage des fourneaux.

76. La hauteur du second étage au-dessus du premier, est arbitraire, seulement il est bon que la distance d'un fourneau du premier à un fourneau du second, ne soit jamais moindre que la distance de ceux-ci entre eux; c'est à dire qu'il faut faire ensorte que l'on ait $Bm =$ ou $> mn$, afin que, dans le cas du moindre espacement, qui est celui d'une ligne de moindre résistance, Bm ne soit jamais plus petit que la ligne de moindre résistance du second rang de fourneaux, condition qui aura lieu chaque fois que la perpendiculaire gm, ne sera pas plus petite que cette ligne, puisque $Bm > gm$.

Ce principe établi, supposons que le second rang de fourneaux doit avoir pour ligne de moindre résistance la moitié de celle du premier rang; c'est-à-dire $\frac{be}{2}$ (fig. 43). Je détermine le point a', sur le plan cb, en faisant $ba' = \frac{bc}{2}$, et ce point sera au profil la coupe de la ligne du second rang de fourneaux. Rapportant cette ligne sur le plan $abdc$, des fourneaux (fig. 50.), en faisant $el = ba' = \frac{ey}{2}$, et tirant par le point l, la ligne zf, parallèlement à ab ou cd, je marque sur cette ligne les fourneaux l, m, n, o. Pour cet effet je considere que, pour que les espacemens lm, mn, no, soient égaux et soumis aux mêmes lois que ceux du premier étage, il faut qu'au-dessus de chaque fourneaux de ce premier étage, répondent deux fourneaux du second, et que l'on ait conséquemment lm, mn, no, etc. $= \frac{AB}{2}$. Je divise donc les distances AB, BC, etc. des grands four-

neaux en 4, et par les points e, g, h, k, etc. de division, j'éleve les perpendiculaires el, gm, hn, ko, qui, par leur rencontre avec la ligne zf des fourneaux du second étage, me donnent les points l, m, n, o, etc. qui sont les centres de ces fourneaux.

Pour établir ces mêmes points sur le plan du glacis (fig. 44.), à la distance $en = eb$ (fig. 43.), de la ligne ef des fourneaux du premier étage, je mene à cette ligne la parallele no; puis, par l'un quelconque B, des fourneaux du premier étage, je tire à no la perpendiculaire Bp, dont le point de rencontre p, marque le milieu de deux fourneaux du second étage; prenant ensuite sur no, pr, $pq = Bg$, ou Bh (fig. 50.), il est clair que les points r, q, marquent les centres de deux fourneaux du second rang, projetés sur le plan du glacis, et que j'aurai tous les autres fourneaux en faisant qs, st, tu, etc. $= rn$.

Du troisieme étage des fourneaux.

77. Les figures seules indiquent que le procédé de l'établissement du troisieme étage des fourneaux est exactement semblable à celui que nous venons de suivre pour le deuxieme étage. Nous n'en répéterons donc pas les détails, et nous ne ferons pas non plus à l'intelligence du lecteur, l'injure de lui donner la démonstration simple qui prouveroit que, d'après cette méthode, les fourneaux des deux étages supérieurs seroient espacés entre eux d'une fois et demie leurs lignes de moindre résistance respectives, c'est-à-dire de $\frac{3\,a'b'}{2}$ et $\frac{3\,c'd'}{2}$.

REMARQUE.

78. Trois étages de mines surchargées pourroient également être établis, suivant les mêmes principes, sur le plan bc (fig. 49.), formant avec celui cg du glacis l'angle $kcb = 14° 28' 40''$, en observant que les recroisemens des entonnoirs, et conséquemment les espacemens, doivent être calculés sur l'hypothese de $be = \frac{cb}{4}$, qui exigeroit, pour le plus grand recroisement, que l'espacement fût de $4be$, et que, pour l'espacement d'une ligne de moindre résistance entre les entonnoirs, cet espacement fût de $9be$. Mais convenons que si une pareille disposition est séduisante sur le papier et par sa simplicité, elle offre, beaucoup plus encore que le systême de Valiere, l'inconvénient de prodiguer une grande masse de poudre, pour produire le soufflement des fourneaux des étages inférieurs dans les entonnoirs des fourneaux supérieurs; et celui de laisser subsister par cet effet une partie du terrain que l'on supposé que les premiers enleveroient.

Quoi qu'il en soit, l'on voit que des seconds et des troisiemes étages de fourneaux pourroient également s'établir sur les lignes bk, im, in (fig. 43.), ainsi que sur celle bk (fig. 49.). Mais nous verrons bientôt combien cette disposition, limitée au seul plan cb, excede le possible ou du moins le raisonnable dans presque toutes les circonstances. Passons aux communications qui doivent conduire le mineur, des galeries aux différentes rangées de fourneaux que nous venons d'espacer.

De la direction des rameaux de mines et de contre-mines.

79. Les points auxquels doivent être placés des fourneaux étant déterminés suivant les principes pré-

cédemment établis, il faut déboucher des galeries vers ces points, par d'autres galeries plus petites auxquelles on a donné le nom de *rameaux* Nous avons dit ailleurs comment se construisent ces rameaux, soit qu'ils soient dirigés horizontalement, formés en rampes ou construits en escaliers. Il ne s'agit donc plus que de déterminer ici leur direction, afin de les bien disposer par rapport aux chambres des mines, dont le centre est, dans chacune un point invariable, auquel toutes les constructions doivent être assujéties.

En aucun cas, lorsqu'on peut aisément l'éviter, un rameau *cd* (fig. 51.), ne doit être dirigé droit sur le centre *a* de son fourneau, parce que ce fourneau doit être placé sur l'un des côtés du rameau afin que l'étrésillonnage *b* puisse s'arcbouter contre l'autre, et se faire ainsi avec toute la facilité et la solidité désirables.

Soit, par exemple, une galerie *cd* (fig. 52.), de laquelle il s'agit de déboucher par un rameau perpendiculaire à la direction de cette galerie, pour aller au point *a*, déterminé pour centre d'un fourneau de contre-mine, et placé au niveau de la galerie. La grandeur de la chambre ayant été fixée en raison de la charge, d'après les regles que nous avons établies, il faut diriger l'un des côtés *ba* du rameau, de maniere qu'il tombe sur le prolongement de l'un des côtés de la chambre; ainsi du centre *a* du fourneau, abaissez une perpendiculaire sur la galerie *cd*, puis du point *b* où cette perpendiculaire rencontrera *cd*, portez d'un côté ou de l'autre, suivant celui que vous voudrez choisir, la moitié de la grandeur trouvée pour l'un des côtés du fourneau, et le point *b* sera celui d'où doit partir l'un des côtés du rameau; portez ensuite de *b* en *e* la largeur que doit avoir ce rameau, marquez aussi le milieu de *be*, et dirigez votre rameau parallèlement à *ab*, suivant la ligne du milieu *cd* (fig. 51.).

Pour connoître le point *d* où il faudra terminer le rameau, ajoutez aussi à la distance *ab* du centre du fourneau à la galerie, la moitié de l'un des côtés de la chambre, plus une longueur constante de 6 pouces.

Le rameau ainsi terminé, laissez sur le côté *ab*, où vous devez placer le fourneau, ces mêmes 6 pouces, à partir du fond du rameau; tracez à cette distance une ligne d'à-plomb; portez de cette ligne vers la galerie la grandeur de l'un des côtés du fourneau, puis tirez une seconde ligne d'à-plomb; enfin portez, à partir du sol du rameau, cette même grandeur sur ces deux perpendiculaires, et joignez les points ainsi déterminés par une ligne parallele à *ab*, vous aurez le quarré suivant lequel vous devez vous enfoncer latéralement et de la même dimension, prise pour chacun de ses côtés, pour creuser le vuide du cube de la chambre : alors le centre *a* du fourneau se trouvera au centre du quarré servant de base au cube de la chambre, et conséquemment au niveau du sol du rameau. Il ne s'agira plus pour que le centre de la charge y réponde, que de s'enfoncer au-dessous de ce quarré, d'une quantité égale à la moitié de l'un des côtés de la boîte à poudre.

La retraite de 6 pouces, laissée de part et d'autre de la chambre pour servir d'appuis à l'étrésillonnage, est appelée *batta* par les mineurs, parce que c'est contre ces parties que *battent* les madriers qui servent de porte de fermeture à la chambre. Cet espace doit être soigneusement ménagé dans tous les genres d'étrésillonnage, c'est-à-dire dans quelle partie d'un rameau que l'on juge à propos d'étrésillonner, afin de donner plus de résistance au comblement du rameau, autrement appelé le *bourrage* de la mine.

Si le centre *a* du fourneau étoit élevé au-dessus du sol de la galerie (fig. 53.), il faudroit alors construire

le rameau ab, soit en rampe, soit en escalier, suivant le rapport de cette élévation ac, à la distance horizontale cb, de la galerie à la verticale qui passe par le fourneau. Dans l'un et l'autre cas, faites à l'extrémité du rameau un palier horizontal, dont la longueur soit égale à l'un des côtés de la chambre plus 1 pied, pour trouver sur le palier l'emplacement de l'étrésillonnage. Afin que ce palier soit exactement placé par la combinaison de la pente de la rampe, ou du nombre des marches du rameau, retranchez de la distance horizontale ab du fourneau à la galerie, la quantité ac, égale à la moitié de la longueur du palier, c'est-à-dire, à la moitié du côté de la chambre plus 6 pouces; alors la rampe ou l'escalier se terminera au point où il ne restera que le palier à construire pour achever le rameau.

80. La direction que nous venons de donner à un rameau, doit éprouver des changemens lorsque certaines considérations les requerrent. Souvent l'élévation d'un fourneau est telle par rapport à sa distance à la galerie d'où doit déboucher son rameau, qu'en faisant faire à celui-ci un détour, l'on parvient à éviter la construction longue et embarrassante d'un escalier, ou bien à former une rampe douce, au lieu d'une rampe difficile. Dans ce cas, l'on fait faire au rameau un coude en retour d'équerre efa (fig. 54.), qui alonge de toute la quantité fa, le trajet du rameau.

Pour soumettre cette construction à une regle déterminée, prenez l'élévation du fourneau a (fig. 54.), au-dessus de la galerie cd; multipliez cette hauteur par 4 pour avoir la longueur horizontale de la rampe, c'est-à-dire $ef+fh$: or $ef=ag$, *plus* la moitié du côté de la chambre, si, pour gagner plus de terrain, vous jugez devoir étendre le rameau au-delà de cette chambre; ou bien $ef=ag$ *moins* la moitié du côté de la chambre,

si, pour ménager le travail d'une partie de rameau *ff*, vous pouvez rester en deçà de cette chambre sans perdre, pour la facilité de la rampe, un développement strictement nécessaire : ainsi, connoissant *ef*, vous connoîtrez, dans les deux cas, le retour *fh*.

Dans la disposition de cette rampe, l'on voit qu'en ne prenant pour son développement horizontal, que *ef* + *fh*, je suppose un palier horizontal au coude en *f*. Ce palier offre une grande facilité pour y faire un second étrésillonnage, qui consolide beaucoup le bourrage de la mine, toujours foible quand un pareil retour n'existe pas, parce que l'étrésillonnage du fourneau laisse en *h* un point où la poudre n'est pas très puissamment contenue par les arcs-boutans ; circonstance qui pourroit, en certains cas, faire souffler le fourneau dans le rameau, si elle ne rencontroit pas au coude *f* une plus forte résistance que celle du simple bourrage.

Cette considération doit faire préférer la forme développée *efh* (fig. 54.), à la direction droite *ba* (fig. 52), dans tous les cas où l'on n'est gêné, ni par le tems, ni par les matériaux. Alors, si la longueur du retour *fh* n'est point déterminée par la construction d'une rampe, l'on peut adopter pour regle de fixer ce retour de maniere que, de la ligne du milieu de la branche directe du rameau au centre du fourneau, il y ait une distance horizontale égale à *une fois et un quart* la ligne de moindre résistance. Cette branche sera disposée comme si elle tenoit le milieu de deux fourneaux séparés par le plus grand espacement qui soit communément admis.

81. Lorsque deux fourneaux *a*, *a* (fig. 55.), se trouvent à portée l'un de l'autre, un rameau droit commun *ef*, dirigé sur le milieu de la ligne qui passeroit par leurs centres, doit conduire à un double rameau

fg, *fh*, disposé, ainsi que nous l'avons dit précédemment, au-delà ou en deçà des deux chambres. Cette construction, qui offre le double de la figure 54, ne demande aucuns nouveaux détails après ceux que nous avons donnés N°. 79 et 80.

82. Si trois fourneaux *a*, *b*, *c* (fig. 56.), forment un trefle régulier ou irrégulier, l'on cherchera d'abord dans le plan de ces trois points, par les procédés de la géométrie, le point central *d*, également éloigné de chacun d'eux; par le point *d*, l'on fera passer un plan vertical et perpendiculaire à la direction *gf* de la galerie, pour avoir le point *e* de débouchement du rameau commun *de*, dont la direction sera ainsi déterminée; puis, distribuant la pente des points *a*, *b*, *c*, au point *e*, en proportion des longueurs *ed*, *da*, *db*, *dc*, l'on connoîtra l'élévation du sol des rameaux au point projeté en *d*, et, de ce même point, l'on sera en état de diriger de nouveaux rameaux vers les centres des fourneaux, en suivant la méthode que j'ai décrite No. 79.

Les directions de ces nouveaux rameaux étant obliques au rameau commun *ed*, et plus ou moins inclinées à l'horizon, il faut connoître les angles que ces divers rameaux font entre eux, au point commun *d* et suivant les plans différens *abd*, *acd*, *cbd*, ce qui peut se trouver graphiquement en traçant exactement la figure et ses divers profils sur une grande échelle, et mesurant ces angles au rapporteur; ou bien en calculant ces angles d'après les données qui établissent la position des points *a*, *b*, *c*, *d*, entre eux et par rapport à la ligne *gf*. Je laisse au lecteur la solution de ce petit problême, qu'il peut indifféremment confier à la science des projections ou à celle de la résolution des triangles.

83. Lorsque l'on a devant un saillant plusieurs tre-

fles *abc*, *def*, *ghi*, régulièrement ou irrégulièrement disposés, après avoir trouvé, comme ci-dessus, les points centraux *k*, *l*, *m*, de chacun d'eux, l'on cherche de même un point central *n*, à trois de ces points; puis par ce point, l'on fait passer le plan vertical *no*, perpendiculairement à la galerie *pq*, de laquelle doit déboucher le rameau commun *no*, et distribuant la pente des points *k*, *l*, *m*, au point *o*, en proportion des longueurs *on*, *nk*, *nl*, *nm*, l'on connoît l'élévation du sol de ces rameaux au point commun *n*, et de ce même point, l'on est en état de diriger la construction d'après la méthode décrite N°. 79.

Cette disposition épargne presque toujours des longueurs de rameaux, et facilite infiniment le compassement des feux, ainsi que nous le verrons à sa place (1).

L'on voit qu'elle est applicable à l'ensemble d'un nombre quelconque de trefles, ou de mines disposées soit deux à deux ou isolément dans tel ordre que l'on voudra supposer, et qu'il ne me reste rien à dire de neuf sur l'exécution, sinon que d'un point central *n*, l'on débouche toujours directement sur d'autres points centraux *k*, *l*, *m*, et que ce n'est jamais qu'à partir des derniers que l'on s'écarte de côté ou d'autre, des centres des fourneaux auxquels les derniers rameaux doivent atteindre.

Il n'est sans doute pas nécessaire de dire ici que le mineur, en traçant les angles que font ces rameaux entre eux, place son équerre d'arpenteur dans un plan

(1) Dans le traité complet que je me propose de donner, je placerai un problème général qui comprend la solution de tous les cas irréguliers possibles dans le placement des fourneaux, et qui ramene la construction des rameaux et le compassement des feux à des procédés réguliers et exacts.

incliné parallele à celui qui contient ces mêmes angles, ou bien dans un plan horizontal, s'il n'en a calculé l'ouverture que suivant leur projection horizontale; attention importante qui, dans le premier cas, l'oblige à connoître l'angle d'inclinaison qu'il doit donner à son instrument pour chaque position particuliere.

Plusieurs trefles ou autres assemblages de fourneaux réunis à une même tige *no*, pourroient être désignés sous le nom de mines *en grappe*.

84. Plus un rameau *fgpb* (fig. 58.), est incliné à l'horizon, et plus il se rétrecit lorsque l'on y emploie des chassis d'une même grandeur. La hauteur *bh* du chassis d'un rameau horizontal donne à ce rameau l'ouverture $ac = bh$, tandis que le même chassis ne donne au rameau incliné que l'ouverture $eo < ed = bh$. Il faut donc, pour conserver la même ouverture ed, que les chassis du rameau incliné soient égaux à bf ou ad. Or, à cause des triangles semblables bac, et dae, l'on a $bc : ba :: ed : ad$, ce qui donne la hauteur du chassis $ad = \frac{ba \times ed}{bc}$; et, puisque $ba = \sqrt[2]{(bc^2 + ca^2)}$, l'on a aussi $ad = \sqrt[2]{(bc^2 + ca^2)} \times \frac{ed}{bc}$: ce qui indique que *pour avoir la grandeur du chassis d'un rameau incliné, il faut extraire la racine quarrée de la somme des quarrés de la base et de la hauteur du plan incliné, la multiplier par la hauteur fixée pour les chassis d'un rameau horizontal, et diviser le produit par la base du même plan.* Ainsi, par exemple, si dans la figure 58, l'on a $bc = 4$ pi., $ca = 3$ pi., $ed = 3$ pi., l'on aura ad ou $fb = 5 \times \frac{3 \text{ pi.}}{4} = 3$ pi. 9 po.

A la suite de tout ce que nous avons dit, il est aisé de construire tous les rameaux que le systeme de contre-mines le plus compliqué pourroit exiger.

Dans

Dans la disposition d'un triple étage de fourneaux et d'un double rang au premier étage (fig. 43 et 44.), l'on voit que tous les fourneaux sont joints deux à deux par des rameaux en T, à l'exception de ceux du second étage, tels que *u*, lesquels se trouvant isolés à côté des communications, ne peuvent être disposés qu'en demi *T*; et de ceux *A*, *D*, du premier étage, qui, placés dans les communications même, n'ont besoin d'aucun rameau, ou doivent être supprimés pour les raisons que j'ai dites précédemment.

Tous ces rameaux, pour les trois étages au premier rang, débouchent de la galerie magistrale *A*, à laquelle, pour cet effet, on laisse, dès l'origine de sa construction, des *amorces* aux différens points tels que *i*, où ils doivent prendre naissance. J'appelle ainsi des espaces égaux aux dimensions en hauteur et largeur des rameaux, que l'on laisse sans maçonnerie ou sans revêtement en madriers, au pied-droit de la galerie du côté où les rameaux sont projetés, afin que le mineur puisse, en y rencontrant toujours la terre, s'enfoncer pour les déblayer, dès que cette opération est devenue nécessaire, et sans avoir alors à s'occuper d'aucune démolition bruyante qui puisse contribuer à décéler son travail.

Mais comme le profil, figure 43, indique que, malgré la ressource du développement et de l'adoucissement de la pente, produits par les branches des *T*, l'on ne peut communiquer de la galerie *A*, aux fourneaux *a'*, *c'*, que par des escaliers, dont celui du 3e. étage surtout est fort roide et peut aisément être évité; je suis de l'avis de Cormontage qui préfere d'arriver aux fourneaux du 3e. étage, par des communications *D*, ouvertes dans la contrescarpe, vers son sommet, ou derriere cette contrescarpe par des rampes creusées dans le terre-plain du chemin couvert, jusqu'au niveau de la

communication, qui doit être au moins à 6 pieds au-dessous de ce même terre-plain; et j'indique, comme cet auteur, une petite galerie *C* parallele à la crête du glacis, de laquelle le mineur peut déboucher vers chacun de ses fourneaux.

L'on voit par le plan, fig. 44, qu'au bout des communications et vis-àvis l'extrémité des rameaux des plus grands fourneaux, l'on construit de petits magasins qui servent au dépôt des poudres, des outils et des matériaux, ainsi que de corps-de-garde aux mineurs qui doivent se relever et se secourir au besoin.

Quant aux rameaux du second rang de fourneaux, c'est de la galerie *B* d'écoute qu'ils débouchent, comme en étant plus à portée.

Si ces divers fourneaux étoient trop élevés par rapport au sol des galeries les plus voisines, il faudroit alors, pour alonger et adoucir considérablement les pentes, recroiser leurs rameaux, c'est-à-dire, déboucher de la magistrale *A*, vers les fourneaux les plus extérieurs *F*, *G*, *H*, *I*, et déboucher de l'enveloppe *B*, vers les fourneaux les plus intérieurs *B*, *C*, *E*, *u*, *r*. *q*, a', c', etc.; mais ce parti, qui nécessite un travail immènse, ne doit être pris que lorsqu'il n'en reste plus d'autre, car, indépendamment de ce travail, il a toujours l'inconvénient de multiplier les difficultés qui résultent du défaut d'air, en raison de la plus grande longueur des rameaux.

La maniere dont les figures 45 et 46 sont disposées, tant dans l'encadrement que suivant les galeries d'écoute, se dessine elle-même aux yeux, quant à tout ce qui concerne l'établissement des rameaux. Les petites fougasses indiquées sur la premiere, peuvent être exécutées par le moyen des puits dont nous avons fait connoître la construction.

Du compassement des feux.

86. Le compassement des feux est une partie très importante de l'art du mineur. Ses succès en dépendent, soit qu'il ait dessein de faire sauter à la fois un nombre quelconque de fourneaux destinés à produire un effet grand et général, tel que l'enlevement de toute une tranchée garnie de batteries de breche, celui d'un ouvrage de fortification ou d'un édifice; soit qu'il ait besoin de produire des effets succescifs et rapprochés, par une suite de fourneaux qu'il ne veut faire correspondre qu'à un seul foyer.

Après ce que Vauban a dit du compassement des feux situés dans un même plan, qu'il suppose horizontal ou peu incliné à l'horizon, il ne reste, pour ce cas particulier, que peu de chose à dire pour réduire sa méthode en principe général et l'appliquer à toutes les positions des fourneaux que l'on peut imaginer dans un tel plan, et quelqu'en soit le nombre.

Si l'on a, par exemple, un nombre quelconque de fourneaux *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* (fig. 59.), dans une situation donnée par rapport à une galerie *gm*, ou un espace libre sur lequel on peut *établir* le compassement des saucissons, il faut d'abord compasser les feux deux à deux en dirigeant un saucisson suivant les rameaux *ag*, *bh*, *ci*, *dk*, *el*, *fm*, et suivant les parties *gh*, *ik*, *lm*, de la galerie, respectivement comprises entre les débouchemens de ces rameaux, ensorte que dans cet accouplement les saucissons soient disposés suivant les figures *aghb*, *cikd*, *elmf*; les côtés *gh*, *ik*, *lm* de ces figures étant serrés au plus près du pied-droit de la galerie, auquel aboutissent les rameaux. L'on cherche ensuite le milieu *n*, *r*, *t*, de ces longueurs de saucissons ces points sont évidemment le milieu des lignes *gh*, *ik* *lm*, lorsque les rameaux sont égaux entre eux.

Cela posé, considérant à leur tour les points *n*, *r*, *t*, comme des centres auxquels on doit porter le feu, on les unit deux à deux comme on a fait à l'égard des fourneaux. Pour cet effet l'on fait partir de ces points, des amorces *no*, *rs*, *tu*, auxquelles on donne des longueurs égales, qui ne doivent pas excéder un pied, et n'être pas au-dessous de 6 po., afin de ménager à la fois l'espace intérieur de la galerie et la séparation nécessaire entre les saucissons paralleles, pour que le feu ne se communique pas d'une maniere irréguliere par le trop de rapprochement, qui peut opérer des ruptures et une inflammation précipitée de l'un à l'autre.

Dans cette disposition l'on unit deux amorces *rs*, *tu*, par une portion commune *su*, de saucisson, ensorte qu'à partir des points *r*, *t*, le saucisson suit la figure *rsut*. Il ne s'agit alors que de marquer sur *su*, le point *v*, du milieu, qui sera le centre des feux des quatres fourneaux *c*, *d*, *e*, *f*.

Si le nombre des points *n*, *r*, *t*, est impair, l'on communique le feu au point isolé *n*, en faisant $op = vu$, et parallele à *gh*; car il est clair que le point *p* est alors disposé par rapport au point *n*, comme le point *v* l'est par rapport au point *u*, et que si le feu arrivoit en même tems aux points *p* et *v*, il parviendroit aussi au même instant aux points *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*.

Pour remplir ce nouvel objet, considérant de nouveau les points *p*, *v*, comme des centres qu'il faut lier ensemble, je fais deux nouvelles amorces *pq*, *vx*, que j'unis par un saucisson commun, qui suivra la figure *pqxv*; je marque ensuite le milieu *y* de la ligne *qx*, et ce point est évidemment le centre commun de tosus le fourneaux proposés. Il ne s'agit donc plus que de conduire d ece point au foyer *z*, une branche de saucisson telle qu'elle est déterminée par l'éloignement des points *y* et *z*.

Les distances gh, ik (fig. 60.), restant égales entre elles, ainsi que les rameaux ci, dk, si l'on a $ci < ag$, l'on déterminera les points n, r, comme précédemment; mais le point central p ne sera pas le milieu de la ligne os.

Pour avoir ce point, faites $ag + ge = ci + ir$, tirez el parallèlement à no, et jusqu'à sa rencontre au point l, avec le prolongement de os; le point central p des fourneaux a, b, c, d, sera le milieu de la ligne ls; et en effet, l'on a, par construction, $ag + ge + el + lp = ci + ir + rs + sp$, et si, dans le premier membre de cette égalité, l'on substitue à lp, deux longueurs en, op, dont la somme est égale à cette ligne, en substituant aussi à el, la ligne de même grandeur no, l'on aura $ag + gn + no + op = ci + ir + rs + sp$.

L'on eût pu trouver le point p, en faisant sa' ou $rk' = ag + gn - (ci + ir)$, puis prenant le milieu de $a'o$, car $a's$ étant ainsi égale à lo, le milieu de oa', est aussi celui de ls.

Maintenant s'il est un cinquieme point isolé f, arbitrairement placé par rapport à ceux a, b, c, d; après avoir établi le saucisson d'amorce pq, tirez parallèlement à os, la ligne qb', jusqu'à sa rencontre avec fb', que vous ferez parallele à dk ou ag; puis fixez sur qb' un point x, en faisant $fb' + b'x = ag + gn + no + op + pq$; enfin prenez le milieu y de la ligne qx, il est évident que ce point sera le centre de tous les feux, et qu'il ne s'agira que de diriger de ce point vers le foyer z, la portion de saucisson yz, après avoir fait à la longueur xb' deux brisures d'équerre xv, ut, arbitrairement longues et à des points arbitrairement choisis afin que le saucisson ne parvienne au centre du fourneau f, qu'par un même nombre de détours, qu'il en parcourt pour arriver aux autres; ce qui est essentiel dans tous les cas, parce que chaque angle produit un retard

dans la communication du feu. Du reste il est évident, que $fm + mt + tu + uv + vx + xy = fb' + b'x = ag + gn + no + op + pq + qy$.

Il pourroit arriver que sa' fût plus grand que so, conséquemment que le point a' tombât au-delà du point o, en l, par exemple ; alors le point p seroit placé au milieu de la ligne lo, ce qui ne change rien à la méthode que je viens de donner. $b'x$ pourroit être de même plus grand que $b'q$, et le point y tomber conséquemment au-delà du point q.

En approfondissant un peu nos procédés, l'on voit que ce que nous venons de dire renferme tous les cas où il s'agit du compassement des feux placés sur un même plan horizontal ou légèrement incliné à l'horizon.

87. Le principe ne seroit pas le même par rapport des fourneaux différemment élevés ou abaissés au-dessus de l'horizon.

La pesanteur spécifique du feu, beaucoup plus léger que l'air, le porte à s'élever et non à descendre. De-là toute matiere qui s'enflamme et brûle de bas en haut, brûle plus vîte que la même matiere qui brûle de haut en bas. Ainsi, par exemple, si ab (fig. 61.) étoit un saucisson vertical rempli de poudre, et que l'on mît le feu à son milieu k, la moitié ka du saucisson élevée au-dessus de ce centre, seroit plutôt consumée que la moitié kb, située au-dessous du même point.

La raison que la théorie pourroit donner pour expliquer ce phénomene, me paroît aussi claire que simple : en effet, la flamme en se dirigeant suivant ka, se porte, à chaque instant, vers la portion du saucisson qui reste à enflammer, l'enveloppe, la pénetre, acquiert sur elle une action en quelque sorte progressive, tandis que, suivant cette même direction, elle agit en sens contraire de la partie kb, qui ne la reçoit que par le contact

immédiat d'une partie enflammée contre une autre qui ne l'est pas ; ensorte qu'il pourroit arriver que le saucisson étant rompu en un point quelconque de sa partie *ak*, le feu ne s'en communiqueroit pas moins à toute cette ligne, tandis qu'il ne prendroit pas en dessous d'une rupture semblable que l'on supposeroit exister dans la partie inférieure *kb*, du même saucisson.

Mais si, par le point *k*, l'on imagine un saucisson horizontal *ef*, il est évident, par la similitude de l'action de part et d'autre, que le feu mis à son centre *k*, arrivera au même instant à ses extrémités *e*, *f*.

Toute oblique *dc*, *gh*, à l'horizon, participant à la fois de la position verticale et de la position horizontale, l'on pourroit peut-être hardiment en conclure que l'accélération du feu suivant la portion *kc*, prise au-dessus du centre d'une droite qui divise l'angle *akf* en deux parties égales, et sa retardation suivant la portion *kd*, prise sur la même droite au-dessous du même point, sont respectivement moyennes proportionnelles entre les vitesses du feu suivant les parties correspondantes de la direction verticale *ab* et de la direction horizontale *ef*; ensorte que si, pour parcourir *ka*, il falloit 20 secondes, tandis que, pour parcourir *kf*=*ka*, il en faudroit 40, il en résulteroit que pour parcourir *kl*= *ka*, il en faudroit 30 ; que si pour parcourir *kb* il falloit 24 secondes, et pour parcourir *ke*=*kb* il en falloit 40, il en faudroit 32 pour parcourir *km*=*kb*.

De cette théorie résulteroit que si, du centre *k* d'un cercle, l'on menoit à sa circonférence une infinité de rayons formant entre eux des angles égaux *lkn*, *nkf*; *mko*, *oke*, etc. la vitesse de la poudre suivant un de ces rayons queconque *kn*, *ko*, seroit moyenne proportionnelle entre les vitesses suivant les rayons adjacens *kl*, *kf*; *km*, *ke*; et conséquemment que la vitesse du feu

décroîtroit comme les angles ckf, hkf, etc. par rapport à l'angle droit akf.

Mais ce principe est un de ceux que n'ont point encore éclairé des expériences suffisamment répétées, et établies avec intelligence. Il faut donc en remettre le développement à l'époque où le gouvernement aura pû ordonner les épreuves qu'ont si fort négligé des officiers de mineurs qui ont joui d'une réputation usurpée. J'observerai seulement ici que rien ne peut être exactement compassé dans les feux différemment élevés, tant que l'on n'aura pas exactement constaté la loi suivant laquelle ils se propagent, soit dans un même plan, ou dans des plans différemment inclinés à l'horizon.

En attendant, je vais rapporter une méthode obscurément indiquée dans un manuscrit informe de Delorme, pour trouver le point central des feux différemment élevés. Cette pratique bornée et mal éclairée, ne dût-elle être que d'un foible usage, établit au moins quelque données qui peuvent diminuer les inexactitudes, et desquelles on pourra partir pour les vérifications que cette partie de l'art de mines réclame comme plusieurs autres (1).

» Pour les feux montans et descendans (fig. 62.), il « arrive quelquefois que l'on a des pieces de fortification « qui sont sur la pointe d'une montagne, et pour les dé« molir après qu'elles sont faites, si l'on veut que les « fourneaux prennent ensemble, il faut pour cela faire « compasser les feux d'une autre maniere que les précé-

(1) Gribeauval, Scholz, Rugi, passoient pour de bons officiers de mineurs, mais ils ne nous ont rien laissé d'intéressant sur leur art et les expériences qui pouvoient l'éclairer. Cormontagne est le seul qui ait fait des épreuves avec intelligence. Nous rapporterons dans notre Traité complet celles dont nous pourrons déduire quelques principes utiles.

« dens. Faisant un quarré suivant la figure 62, tirez « une diagonale d'angle en angle, et prenez la pente de « la montagne depuis un logement jusqu'à l'autre, et « la rapportez sur le quarré pour voir si la pente est « suivant la ligne *LI*, de niveau, et dont le centre est le « milieu. Je suppose qu'il y ait un fourneau à chaque « bout de la diagonale comme *A*, *B*. Pour avoir le com« passement de ces fourneaux, il faut, du depuis le cen« tre *M*, jusqu'au point *B*, la diviser en 8 parties, et la « huitieme la rapporter sur le point *O*, qui sera le mi« lieu des deux fourneaux. »

J'interromps un moment l'auteur, pour observer qu'il laisse ignorer si ce point *O* est placé sur la verticale passant par le centre *M* du quarré, ou sur la diagonale *AB*, sur laquelle sont les deux fourneaux. Je ne pense cependant pas qu'il entende le déterminer sur la verticale, car si *MB* étoit seulement de 16 toises, *MO* seroit de 2 toises, d'où il résulteroit qu'il faudroit établir le centre à 12 pi. sous terre, et en faire partir le saucisson suivant les lignes *OA*, *OB*, formant entre elles l'angle *AOB*, ce qui exigeroit le déblai énorme des triangles *AMO*, *BMO*, pour une opération qui peut s'établir plus simplement en cherchant sur *AB* même, un point *O*, qui coupe cette ligne en raison réciproque de la vitesse du feu suivant *OA* et *OB*, point qui existe évidemment sur cette ligne. Je reprends le texte de l'auteur.

« S'il y en avoit d'autres (fourneaux) qui ne fussent « point si élevés, comme *D*, *C*, il faut, pour cette élé« vation, diviser du centre *M*, au point *C*, en dix par« ties, et la dixieme la porter sur la même ligne au-des« sous du centre, comme il est marqué par un point « rouge (qui n'existe pas sur la figure que j'ai sous les « yeux), qui sera le milieu des deux fourneaux *C*, *D*. « De même faites faire aux deux fourneaux *E*, *F*, en

« augmentant de deux parties le nombre pour la divi-
« sion, comme de dix à douze parties, et rapporter la
« douzieme au-dessous du même centre, pour avoir
« le milieu des feux *E*, *F*. L'on fera la même chose pour
« les deux fourneaux *G*, *H*, qui est de faire la division
« en quatorze parties, et de réduire la quatorzieme qui
« est aussi le milieu des feux. Il faut remarquer que plus
« le feu est couché, et moins il va vîte, ce qui fait qu'il
« faut ramener le milieu des feux en approchant le
« centre, à proportion des pentes qu'ils peuvent avoir.

« Si l'on a plusieurs mines à faire jouer ensemble, et
« que l'on veuille qu'ils ayent quelques fourneaux qui
« part ni les premiers, il ne faut pas laisser de faire
« le compassement juste, et ensuite l'on tiendra plus
« court les feux des logemens qui doivent partir les pre-
« miers, ainsi des autres. »

Ce que je puis comprendre à cet exposé, que la théorie d'aucun autre auteur, que je connoisse, ne peut m'aider à éclaircir, c'est que l'expérience a prouvé que sur une pente *AB*, inclinée suivant l'angle *BMI*, de 45° à l'horizon, le point *O* se trouve situé sur cette pente, de maniere que $AO:OB::7:9$; que sur une pente *CD*, exprimée par $\frac{45^\circ \times 3}{4} = 33^\circ\ 15'$. Ce même point, que je nomme toujours *O*, se trouve placé de maniere que $DO:OC::9:11$; que sur une pente $EF = \frac{45^\circ \times 2}{4} = 22^\circ\ 30'$, le point *O* donne cette proportion $EO:OF::11:13$; enfin que sur une pente *GH*, exprimée par l'angle $HMI = \frac{45^\circ \times 1}{4} = 11^\circ\ 15'$, le point *O* se trouve fixé par cette proportion $GO:OH::13:15$, et ainsi de suite dans des rapports intermédiaires sur toutes les pentes, moyennes entre les lignes *AB*, *CD*, *EF*, *GH*, *LI*; d'où il suivroit en effet, comme le dit l'auteur,

qu'en rapportant la pente de la ligne qui joint deux fourneaux, à l'inclinaison de celle des lignes de la figure qui forme avec *LI*. le même angle que cette pente fait avec l'horizon, l'on connoîtra le rapport suivant lequel il faut diviser la longueur des saucissons, pour avoir le centre des feux dont il s'agit.

Toutes les pentes possibles depuis 45° jusqu'à zéro, pouvant être représentées par les lignes qu'on feroit passer par le point *M* et le nombre infini de points qui forment la ligne *BI*, il est évident que cette théorie seroit complette pour cette série de pentes ; mais il resteroit encore à déterminer les lois de la propagation des feux suivant les angles compris entre celui de 45° et celui de 90; objet qui ramene toujours à la nécessité des nouvelles épreuves.

De la maniere de déterminer l'étendue du comblement des rameaux et des galeries, pour empêcher les fourneaux de souffler.

88. En reprenant la disposition des fourneaux telle que nous l'avons établie sur les figures 43 et 44, supposons qu'il s'agisse de connoître l'effet des fourneaux *F*, *B*, *u*, &, par rapport à la communication *bfh*, afin de déterminer la longueur sur laquelle cette galerie doit être bourrée ou comblée, pour résister à leur effet et ne le point altérer dans sa direction. Ces fourneaux sont les mêmes que ceux que nous avons représentés au profil aux points *i*, *b*, *a'*, *c'*.

J'imagine un plan vertical passant par la ligne *mx*, qui marque au plan le côté de la communication le plus rapproché desdits fourneaux ; puis un plan horizontal passant par le point *d* de la naissance de cette même galerie, et représenté (fig. 43.) par la ligne *ai*, ces deux

plans, perpendiculaires l'un à l'autre, sont représentés, fig. 63, respectivement par les droites indéfinies dh, dg, formant l'angle droit hdg, en les supposant projetés sur un troisieme plan perpendiculaire à leur section commune.

Cela posé, je rapporte la situation des fourneaux F, B, u, &. aux deux lignes dh, dg.

Pour cet effet je prends la distance du fourneau & à la ligne mx (fig. 44.), que je porte de d en e, sur la droite dg (fig. 63.), et par le point e, j'éleve une perpendiculaire ec, que je fais égale à la hauteur dont le centre c', du même fourneau pris au profil fig. 43, se trouve élevé au-dessus de la ligne di'; l'extrémité c, de cette perpendiculaire, me représente alors ce même fourneau dans sa situation par rapport aux lignes dh, dg, et par rapport à la communication C, coupée perpendiculairement à sa longueur.

Pour avoir le fourneau u, je porte la distance à laquelle il se trouve éloigné de mx, de d en f, j'éleve la perpendiculaire fa, que je fais égale à l'élévation du point a' (fig. 43.), au-dessus de la ligne di'; et l'extrémité a de cette perpendiculaire, me représente le fourneau u, dans sa situation par rapport aux lignes dh, dg, et par rapport à la communication C.

Je trouve de même la position du fourneau B, qui se place de cette maniere en b (fig. 63.); et enfin celle du fourneau F, que me représente alors le point i.

Pour connoître maintenant ceux de ces fourneaux qui ont quelque action sur la galerie de communication C; de ces différens points comme centres, et avec des rayons $e'c$, $a'c$, bc, il (fig. 43.), égaux à ceux de l'activité de leurs charges respectives, (ou bien, suivant Cormontagne, égaux à une fois et demie leurs lignes de moindre résistance), je décris des circonférences, qui

marquent nécessairement l'étendue des effets de ces fourneaux, suivant le plan sur lequel je les ai rapportés, et par rapport à la galerie *C*. Il résulte de l'éloignement du cercle décrit du centre *c*, que l'effet de ce fourneau n'atteint pas la galerie, quoiqu'il sembleroit au plan (*fig.* 44.), qu'il devroit la couper. Il résulte de la position du cercle décrit du point *a*, et qui enveloppe la galerie *C*, que le fourneau *u* tend à la renverser. Il résulte de la position du cercle décrit du point *i*, et qui enveloppe la galerie *C* plus encore que ne fait le précédent, que le fourneau *F* tend également à la détruire. Enfin, le cercle décrit du point *b*, et passant par le point *d*, qui représente la ligne *m x*, me fait connoître que l'effet du fourneau *B* s'arrête à la partie extérieure de la galerie, et qu'elle n'a rien à en redouter, ainsi que cela devoit être par notre combinaison primitive, puisque nous avons fait $Bk = Bl$.

Voyons maintenant sur quelle étendue de cette même galerie, les effets annoncés peuvent s'étendre.

Soit *A B* (fig. 64.) ladite galerie, et supposons un plan incliné passant par la ligne *d a*, et par le côté *m x* (fig. 44.), ou *A B* (fig. 64.), l'une et l'autre représentées par le point *d* (fig. 63.). Si, par un point quelconque *d* de la ligne *A B* (fig. 64.), je tire une perpendiculaire indéfinie *d b*, et que je porte de *d* en *a*, la ligne *d a* (fig. 63.), le point *a* marquera le centre du fourneau *u*, placé sur le plan incliné dans lequel se trouve *A B*. Donc, si de ce point comme centre, je décris le cercle d'activité de ce fourneau, les points *e*, *f*, où ce cercle coupera la ligne *A B*, marqueront la longueur sur laquelle il faut bourrer cette galerie pour qu'elle résiste à l'action du fourneau, et pour que le fourneau ne souffle pas suivant la ligne *a d*. C'est donc entre les deux perpendiculaires *e k*, *f l*, qu'il faudroit combler cette galerie.

Pour rapporter la ligne *ef* sur le plan fig. 44, il faut abaisser du point *u*, une perpendiculaire sur *mx*, et porter de droite et de gauche en *z* et *y*, les longueurs égales *de*, *df*.

Imaginant maintenant que le plan incliné passe par *di* (fig. 63.), et portant *di*, de *d* en *i* (fig. 64.), puis décrivant du point *i*, le cercle d'activité du fourneau *F*, l'on trouvera, comme précédemment, les points *g*, *h*, et les perpendiculaires *gi*, *hm*, entre lesquelles il convient de combler la galerie *AB*, par rapport au fourneau *F*. Si du point *F*, l'on abaisse sur *mx* (fig. 44.), la perpendiculaire *Fh*, et que l'on porte de droite et de gauche en *x* et *v*, les longueurs égales *dh*, *dg*, ce sera entre les points *x* et *v* qu'il faudra combler la galerie *bfh*.

Ainsi le comblement nécessité par le fourneau *u*, ne seroit séparé de celui nécessité par le fourneau *F*, que par le vuide *zv*, qui ne mérite pas la peine d'être ménagé; d'où il résulteroit que c'est sur la longueur totale *yx*, qu'il faudroit remplir la communication pour assurer les effets dont il s'agit.

J'ai rapporté à la fig. 64 les centres *b* et *c* des fourneaux *B*, *&*, pour faire voir encore que leur effet demeure éloigné de la galerie *AB*, suivant tous les plans que l'on voudra imaginer par les centres de ces fourneaux.

Maintenant il est démontré : 1°. Que si les rameaux qui conduisent aux centres *a*, *i* (fig. 64.), étoient dirigés suivant les perpendiculaires *ad*, *id*, plus petites que les rayons d'activité correspondans, il faudroit que ces rameaux fussent comblés sur toute leur longueur.

2°. Que si, pour arriver aux fourneaux *a*, *i*, l'on construisoit les rameaux obliques *fa*, *gi*, égaux auxdits rayons d'activité, il faudroit encore que ces rameaux fussent comblés sur toute leur longueur.

3°. Que si, pour arriver à un fourneau *i*, l'on construisoit un rameau *qi* plus grand que le rayon d'activité, il faudroit, indépendamment du comblement entre les points *g*, *h*, opérer encore le remplissage du rameau sur toute la partie *ip*, comprise dans le cercle d'activité.

4°. Enfin, que, quels que soient les angles que pourroient former entre eux les rameaux et les galeries, la théorie que je viens d'établir est générale, conséquemment applicable aux fourneaux disposés en trefles, en *T*, demi *T*, *grappe de raisin*, etc.

Tout cela bien conçu et les données bien saisies, le lecteur reconnoîtra qu'à la méthode du tracé graphique, il peut substituer les calculs de la trigonométrie, pour déterminer avec une exactitude très-rigoureuse, mais assez superflue, les longueurs *df*, *dh*, *dq*, *ad*, *id*, *af*, *ig*, *iq*, qu'il importe de connoître dans la fig. 64, pour résoudre, dans tous les cas possibles, le problême du bourrage des rameaux et des galeries.

CHAPITRE V.

De la proportion qu'il faut établir entre les dispositions des contre-mines, la grandeur d'une place et la force de sa garnison; et des approvisionnemens nécessaires à la construction des contre-mines en bois.

89. J'ai remarqué ailleurs combien il falloit être sobre dans l'établissement des contre-mines, à raison de l'impossibilité d'en tirer avantage, dès qu'elles sont en disproportion avec les moyens ordinairement réunis dans une place, selon sa grandeur et la force de sa garnison

Un front de fortification, et les deux demi-fronts voisins, tels que ceux de la double couronne de Belle-Croix à Metz, offrent l'emplacement de 400 fourneaux, en ne les disposant que sur un seul étage. En supposant qu'ils aient 25 pieds de ligne de moindre résistance moyenne, il faudroit, ainsi que l'observe Cormontagne, 600 milliers de poudre pour les charger. Or, à peine, ajoute cet auteur, en trouveroit-on cette quantité dans les grandes places frontieres de la France.

Cormontagne ne comprend point dans cette évaluation, la poudre nécessaire aux saucissons, qui en absorbent une quantité qui, jointe au déchet, peut être portée au moins à un dixieme des charges des fourneaux.

Il convient donc, en établissant un système de contre-mines, de prendre pour base, la quantité de poudre que l'on peut trouver dans une place pour cet usage, et le nombre de mineurs et d'aides dont il est possible de disposer.

Pour appliquer cette régle à un exemple, l'auteur que je cite ici suppose un exagone pourvu, selon ses principes d'approvisionnemens, de 450 milliers de poudre, et n'attribue à l'usage des contre-mines, que le tiers de l'approvisionnement total, c'est-à-dire 150 milliers; puis il examine comment il peut le plus avantageusement employer ce tiers.

Cette disposition consiste en un triple étage de fourneaux, dont les plus élevés ne sont qu'en chapelet de fougasses à bombes, ainsi que je l'ai exprimé précédemment, fig. 43 et 44.

Comme l'ennemi, dit-il, instruit des travaux souterrains que l'assiégé fait sous le glacis le long de la tête du chemin couvert, ne manquera pas de les fouiller pour les rendre inutiles, il faut aussi de son côté se mettre en posture de l'arrêter avec une sorte de certitude

titude que l'on n'a pas encore trop connue jusqu'à présent.

Pour cet effet, nous établissons, entre les fourneaux du bas étage, des écoutes, prolongées de 30 à 36 pieds en avant, pour s'y tenir constamment aux écoutes lorsque l'ennemi est à portée, et reconnoître quand et à quelle distance il travaille, afin de le prévenir.

Dans cette disposition, il y a 46 fourneaux au bas étage, qui entreront en action avec l'ennemi. S'ils ont chacun 30 pi. de ligne de moindre résistance, il faudra pour les charger, 124,200 liv. de poudre.

Il y a 92 fourneaux au second étage, qui ont chacun 15 pieds de ligne de moindre résistance, ce qui fait environ 300 liv. de poudre pour chacun, et pour les 92 fourneaux 27,600 liv., ce qui, avec les 124,200 liv., ci-dessus excede déja les 150 milliers de poudre que notre exagône peut fournir pour la guerre souterraine ».

Donc il ne reste rien pour les fougasses du troisieme étage. Les deux seuls rangs de fourneaux *b*, *i* (fig. 43), exigeroient 250,000 liv. de cette matiere.

Ce détail démontre combien il faut resserrer les limites de cette guerre, en ne considérant d'abord que la consommation de la poudre.

Passons au calcul du nombre d'hommes qu'elle exige.

« L'ennemi ayant établi sa troisieme parallele à 25 toises des saillans du chemin couvert, fera ensuite des places d'armes, et portera en avant, des demi-paralleles qui l'établiront à 15 toises de la tête du chemin couvert. Il n'est point encore en prise à la guerre souterraine ; mais il est à la portée la plus convenable pour la fouiller. Dans cette vue, il fera des puits dans ses demi-paralleles, de 10 en 10 toises. Il les excavera à la même profondeur qu'est établie la galerie magistrale » (toutefois si le defaut d'air ne l'arrête pas, auquel cas il fera

un globe de compression), pour y cheminer debout et rencontrer chemin faisant, où les rameaux ou les fourneaux. C'est la conduite la mieux concertée qu'il puisse tenir en cette occasion.

L'assiégé de son côté, qui s'apperçoit de cette manœuvre par les monceaux de terre provenant des fouilles de l'ennemi, qui les dépose à la sortie des puits, est obligé de se tenir exactement aux écoutes, dans tous les rameaux intéressés.

Cela posé, il ne faut pas moins d'un mineur à la tête de chaque écoute, avec 3 aides ; et comme il y a 46 écoutes en butte aux attaques de l'ennemi, il faut 46 mineurs, et 138 servans de service à la fois.

Il faut au moins 3 relais qui se relevent de deux en deux heures, conséquemment 138 mineurs et 414 servans. De plus, après 24 heures de service, ce nombre doit être relevé par un pareil, et avoir deux jours de repos ; il faudroit donc 414 mineurs, et 1242 servans pour défendre cette disposition. Or, il n'y en a jamais cette quantité dans la place la plus considérable ; et une garnison, telle que seroit celle d'un exagone, ne fourniroit pas la sixieme partie de ce nombre de servans pour le seul usage des mines.

Ce nouveau détail fait connoître que notre projet de guerre souterraine est encore trop chargé pour un exagone. Nous voudrions que l'on se bornât à ne contre-miner le chemin couvert que devant les bastions, en rejetant tout le reste pour obtenir le moyen de faire aussi quelque-chose pour la défense souterraine des pieces. »

En toute hypothèse, cet exemple peut servir d'échelle de graduation pour mettre la guerre souterraine en proportion avec la grandeur d'une place et les ressources dont elle est pourvue.

Application de l'observation précédente à quelques cas particuliers.

« 90. Dans nombre de circonstances, l'on ne songe à approvisionner les places qu'au moment où elles vont être investies. Peu de jours après, l'on voit les attaques ouvertes, de sorte qu'à peine on a le tems de pratiquer quelques fougasses aux angles saillans du chemin couvert. Mais, en supposant que l'on devance l'ennemi d'un mois ou deux, on jette dans un quarré une quinzaine de mineurs; dans un pentagone une trentaine, enfin dans les plus fortes places, on s'imagine faire un grand effort d'y mettre 70 ou 80 mineurs, de sorte que, si l'on a du tems à sa disposition, l'on manque de l'espece de bras qu'il faut, et plus communément on manque de tout. C'est sur ces inconvéniens, auxquels il ne paroît pas que l'on ait dessein de remèdier, qu'il faut arranger son projet de mine, afin de n'entreprendre que ce qu'il est possible d'exécuter. »

L'on voit qu'il est ici question d'une place non contre-minée.

Ier. EXEMPLE,

Pour un quarré ou place à quatre bastions.

» 91. Après avoir déterminé le front d'attaque, l'on travaillera sous les saillans des chemins couverts de la demi-lune et des deux bastions de ce front, pour y pratiquer trois fourneaux *a*, *b*, *c* (fig. 65.), disposés en trefle, au degré d'éloignement de la crête du glacis, nécessaire pour empêcher qu'elle ne soit endommagée, et fixé d'après la méthode que nous avons détaillée précédemment.

La tige des rameaux de ce trefle aura son issue au point *a* du revêtement de la contrescarpe. La ligne de moindre résistance sera de 16 pieds, à moins que le ni-

veau de l'eau des fossés permette de descendre plus bas, auquel cas l'on augmentera cette ligne le plus qu'il sera possible.

Cette disposition exige qu'il y ait un tambour ou réduit de charpente dans le terre-plain des places-d'armes saillantes, pour avoir la liberté de les faire agir à-propos ; d'ailleurs ces points étant ceux que l'ennemi insulte de préférence, doivent, dans toutes les hypotheses, être mieux défendus que les autres.

Estimation de la poudre.

Trois trefles donnent 9 fourneaux qui, pour 16 pieds de profondeur, exigent chacun à-peu-près 400 liv. de poudre, ce qui fait ci . . .	3600 liv.
De plus un fourneau dans la croisiere *e* des rameaux, faisant 3 fourneaux, que l'on chargera de 500 liv., à cause de leur établissement au milieu de 4 rameaux nouvellement bourrés, ci	1500
Pour les saucissons, et autres emplois de poudre, $\frac{1}{10}$, ci	500
Total . . .	5600 liv.

Estimation du nombre des mineurs et servans nécessaires à cette disposition.

Il faut à chaque trefle faire un puits sur la croisiere *e* des rameaux, auquel il faut employer 4 mineurs. Il faut en placer un cinquieme au point de débbuché *d* de la contrescarpe, ce qui fait quinze mineurs pour les 3 trefles, ci . . . . 15 mineurs.

D'après ce que nous venons de dire il y a 4 attaques de travail ou ateliers au puits *e*, pour faire les 3 rameaux *ea*, *eb*, *ec*, et une portion de la tige *ed* ; puis un cinquieme attelier qui s'attache au point *d*, pour aller à la rencontre de celui qui chemine de *e* vers ce

point. Pour chaque attelier il faut 3 servans, et pour les cinq, 15 servans; de plus 2 hommes au bourriquet, ce qui fait en tout, pour un relais, 17 servans, et pour les trois relais, ci . . . . 51 servans.

Estimation du tems nécessaire à l'exécution.

Les puits que l'on fait dans un tems très pressé, doivent avoir au moins 4 pi. en quarré, mesurés dans œuvre; et les rameaux, $2\frac{1}{2}$ pi. de large, et 3 pi. de haut, aussi mesurés intérieurement entre les bois de coffrage. L'expérience a prouvé que, suivant ces dimensions, les mineurs font des progrès exprimés par la table suivante.

TABLE *des progrès du travail des Mineurs, tant pour l'excavation que pour le coffrage des puits et des rameaux.*

Heures du travail.	Avancement du travail.	Total du tems.	Total des progrès.
heures.	pieds.	heures.	pieds.
1	2	1	2
1	1 $\frac{3}{4}$	2	3 $\frac{3}{4}$
1	1 $\frac{1}{2}$	3	5 $\frac{1}{4}$
1	1 $\frac{1}{4}$	4	6 $\frac{1}{2}$
1	1	5	7 $\frac{1}{2}$
1 $\frac{1}{4}$	1	6 $\frac{1}{4}$	8 $\frac{1}{2}$
1 $\frac{1}{2}$	1	7 $\frac{3}{4}$	9 $\frac{1}{2}$
1 $\frac{3}{4}$	1	9 $\frac{1}{2}$	10 $\frac{1}{2}$
2	1	11 $\frac{1}{2}$	11 $\frac{1}{2}$
2 $\frac{1}{4}$	1	13 $\frac{3}{4}$	12 $\frac{1}{2}$
2 $\frac{1}{2}$	1	16 $\frac{1}{4}$	13 $\frac{1}{2}$
2 $\frac{3}{4}$	1	19	14 $\frac{1}{2}$
3	1	22	15 $\frac{1}{2}$
3 $\frac{1}{4}$	1	25 $\frac{1}{4}$	16 $\frac{1}{2}$
3 $\frac{1}{2}$	1	28 $\frac{3}{4}$	17 $\frac{1}{2}$

Cette table, que l'on peut pousser aussi loin que l'on voudra, démontre que, dans le présent exemple où les

puits ont chacun 17 pi. de profondeur, ces puits seront creusés en 28 heures, que nous porterons à 30.

En comptant donc 10 heures de travail par 24, il faudra pour celui des puits, ci . . . 3 jours.

Il y a en outre 36 pi. de rameaux à pousser à chaque attelier, qui, suivant la table, seront creusés en 142 heures, ci 14

Total du tems 17 jours.

REMARQUE.

Si l'on avoit moins de mineurs, ou que l'on manquât des approvisionnemens necessaires, on pourroit diminuer le travail en substituant aux trefles de simples *T*; alors le travail pourroit être exécuté par 12 mineurs.

Il faudroit encore prendre le même parti si les quatre fronts du quarré étoient également exposés aux attaques, quand même l'on posséderoit les 15 mineurs; car au lieu de trois saillans, l'on en auroit huit à défendre, ce qui forceroit à se borner aux trefles des saillans des bastions.

IIe. EXEMPLE,

Pour un pentagone où l'on jeteroit 25 mineurs.

92. Nous supposons ici que les fossés sont secs, de sorte que les fourneaux seront placés à 30 pi. de profondeur sous le glacis.

Comme l'on suppose aussi dans le présent exemple, qu'on augmente le détachement des mineurs, nous augmenterons en même proportion le travail des contremines, en ajoutant aux trefles *a*, *b*, *c*, que nous avons déterminés pour le quarré, deux trefles *d*, *e* (fig. 66.), pour servir à la défense des saillans des deux places-d'armes rentrantes du front d'attaque.

Estimation de la poudre.

Qunize fourneaux aux cinq trefles, pour chacun desquels il faut 2700 liv. de poudre, demandent, ci, ... 40,500 liv.

Cinq fourneaux dans les croisieres, dont la charge de chacun est augmentée d'un quart, ci 16,875

Pour saucissons, etc., environ $\frac{1}{10}$, ci . . 5737

Total . . . . 63,112 liv.

Estimation du nombre de servans nécessaire à ce travail.

Le nombre des servans doit augmenter comme celui des mineurs et celui des puits. Ainsi, les mineurs et les puits étant dans l'exemple précédent, à ceux du présent exemple comme 3 à 5, l'on fera cette proportion :

3 : 5 :: 51 servans : ci, ... 85 servans.

Estimation du tems nécessaire à l'exécution.

Le travail ayant augmenté dans le même rapport que les travailleurs, le tems nécessaire à l'exécution sera le même. Donc il sera comme dans l'exemple du quarré, ci . . . . 17 jours.

REMARQUE I.

Il est rare qu'on soit suffisamment pourvu de poudre dans un pentagone, ou une autre place de grandeur équivalente, pour y destiner 63 milliers de poudre aux mines, ce qui supposeroit un approvisionnement de près de 200 milliers.

Supposons donc que l'on n'en possede que la moitié, c'est-à-dire de 25 à 30 milliers, et voyons le meilleur usage que l'on peut en tirer.

1°. Il faut convertir les trefles en *T*.

2°. Conduire les rameaux en montant, de sorte que la ligne de moindre résistance soit réduite à 25 pieds.

3°. Il faut supprimer les fourneaux des croisieres des galeries si l'on veut conserver les trefles, de maniere qu'en aucun cas, il n'y en ait plus que 15 à faire agir.

Autre consommation de poudre.

De cettte réduction l'on tirera le calcul suivant : 15 fourneaux ayant 25 pieds de profondeur, à raison de 1562 liv. pour la charge de chacun, ci . . . 23.420 liv.

Pour les saucissons, etc., $\frac{1}{10}$, ci . . . 2342

Total. . . . 25,762

REMARQUE II.

Pour faire l'estimation des poudres, l'on se contente d'un calcul approché, qui consiste à faire le cube de la ligne de moindre résistance, et à en retrancher le dernier chifre, ce qui donne la charge d'un fourneau, qu'il ne s'agit plus alors que de multiplier par le nombre des fourneaux.

REMARQUE III.

Malgré la précaution prise pour que les entonnoirs de mines ne s'étendent pas jusqu'à la crête du glacis, il arrive néanmoins que leur explosion renverse les palissades du chemin couvert, et que les terres enlevées et portées en gerbe dans tous les sens, loin au-delà des limites des entonnoirs, le remplissent et effacent tous les reliefs dont dépend sa défense.

Il faut donc ne faire agir les fourneaux disposés de la maniere dont nous l'avons fait, que lorsque l'on est obligé d'abandonner, sans retour, la défense du chemin couvert; car, si l'on vouloit porter ces fourneaux jus-

qu'à la distance convenable pour qu'ils ne produisissent pas l'inconvénient dont je parle, il faudroit les placer à plus de 60 pieds de la palissade, alors ils ne seroient d'aucun effet contre les logemens de l'ennemi, qui couronnent le glacis à 10 ou 12 pieds de sa crête.

IIIe. EXEMPLE,

Pour un exagone où l'on jeteroit 45 mineurs

93. Dans une place à 4 bastions, nous avons fait 105 toises courantes de puits ou de rameaux, avec 15 mineurs et 51 servans.

Il résulte de-là que nous pouvons entreprendre 315 toises de travail semblable avec 45 mineurs et 153 servans, et que ce travail sera achevé dans le même tems, c'est-à-dire en 17 jours, en travaillant 10 heures par 24, ou en 8 jours, en travaillant sans discontinuer.

Avec cette étendue de travail, l'on peut armer de fourneaux toute la tête du chemin couvert de l'attaque, les fourneaux étant réduits à 25 pi. de ligne de moindre résistance ; et, pour cette raison, nous ajoutons 8 *T* (fig. 66.) aux dispositions précédemment fixées pour le pentagone. Ces *T* débouchent aux points *f*, *g*, *h*, *i*, *k*, *l*, *m*, *n*, de la contrescarpe. Ils ont 20 toises de longueur de rameaux chacun, ce qui donne un déyeloppement total de 160 toises, qui, joint à 170 toises de rameaux pour les trefles, donne un travail de 330 toises, à-peu-près triple de celui du quarré.

Estimation de la poudre.

Le systême de mines proposé demande 31 fourneaux, pour chacun desquels il faut comme pour le pentagone, 1562 liv. de poudre, ci pour les 31, ... 48,422 liv.
Le $\frac{1}{10}$ pour les saucissons et autres usages, 4842

Total . . . . . 53,264 liv.

REMARQUE.

Si l'on ne pouvoit destiner, dans l'exagone, cette quantité de poudre à l'usage des mines, il faudroit convertir les trefles en *T* ; et, si cette réduction étoit encore insufisante, l'on réduiroit la ligne de moindre résistance à 20 pieds.

Moindre consommation de poudre.

Dans ce dernier cas, il n'y auroit que 26 fourneaux à 800 liv. de poudre chacun, ci	20,800 liv.
Le $\frac{1}{10}$ pour saucissons, etc., ci	2080
Total.	22,880 liv.

L'on voit que, dans cette supposition, il ne faudroit pas la moitié de la précédente quantité de poudre.

REMARQUE.

Ce calcul démontre que l'on pourroit multiplier considérablement le nombre des fourneaux, en réduisant la ligne de moindre résistance à 15 pieds; car la charge de chacun ne seroit alors que de 337 liv. de poudre, charge contenue à-peu-près 62 fois dans 20,800 livres, et 144 fois dans 48,422. Or, il n'est pas douteux que, si l'on possédoit des mineurs en proportion de cette augmentation de travail, il seroit préférable d'adopter le systême qui donneroit le plus grand nombre de fourneaux, parce qu'il enleveroit plus de surface de terrain, et qu'il en imposeroit d'avantage. Cependant il faudroit éviter les lignes de moindre résistance au-dessous de 15 pieds, parce qu'elles réduiroient le systême à des fougasses. Je parle dans le sens des mines non surchargées, dont il n'est plus question ici.

IVe. EXEMPLE,

Pour un eptagone où l'on jeteroit 60 mineurs.

94. Cet exemple est le même que le précédent. Cormontagne y ajoute seulement des portions de galerie magistrale, *uv*, *op*, *qr*, *st*, pour communiquer aux *T* des fourneaux situés vers les places-d'armes des deux bastions du front d'attaque (1).

Ces portions de galerie ont ensemble 144 toises de longueur. Elles ne doivent pas empêcher que les tiges des *T* ne percent jusqu'à la contrescarpe, pour en faciliter le travail ; mais aussitôt que l'ennemi s'approche du glacis, il faut boucher la partie des tiges depuis la magistrale jusqu'à la contrescarpe, dont on maçonne les ouvertures. Alors l'on communique seulement par la partie de cette magistrale qui aboutit aux rentrans, comme on le voit en *u*, *p*, *q*, *t*.

Quant au travail de cette galerie, il faut l'ouvrir par 12 puits, espacés convenablement pour 24 atteliers ou attaques. L'on placera un mineur à chaque puits, et 4 servans à chaque attaque, ce qui fera seulement 12 mineurs, mais 96 servans. Dans cet ordre, un mineur dirigera les servans de deux attaques, et sur la totalité, il y en aura 3 dont on pourra disposer pour seconder les 12 autres.

L'étendue 144 toises du travail, étant divisée en 24 atteliers, il y aura 6 toises ou 36 pieds de travail particulier pour chacun. L'exécution en sera aussi prompte que dans les exemples précédens ; car, quoique la galerie soit d'une ouverture plus considérable que celle

---

(1) Je conserve ici la figure d'un pentagone pour y rapporter les dispositions des autres polygones, afin de ne pas multiplier les figures : cela n'altère en rien l'exactitude des idées.

des rameaux, on fera à-peu-près les mêmes progrès, à cause de la plus grande facilité qui résulte de plus de commodité dans l'espace.

Estimation de la poudre.

L'objet de la galerie étant de chicaner l'ennemi par des fougasses et des camouflets, pour l'engager dans la guerre souterraine, il faut ajouter à l'évaluation précédente, un dixieme d'augmentation sur la quantité de poudre, ainsi,

Comme précédemment, ci	53,264 liv.
Plus $\frac{1}{10}$, ...	5326
Total	58,590 liv.

REMARQUE.

Il faut ajouter ici aux outils nécessaires au travail, et dont nous donnerons le détail à la suite de ces exemples, 4 trépans à faire des camouflets et de petites fougasses.

Ve. EXEMPLE,

Pour un octogone où l'on jeteroit 75 mineurs.

95. *Cet exemple est le même que le précédent, excepté que l'on y établit une galerie magistrale sous la banquette du chemin couvert, vis-à-vis les deux faces de la demi-lune, comme on le voit en* px *et* qy.

Cette disposition ajoute 100 toises de développement au travail des mines, et demande une addition de deux trépans aux outils des mineurs.

REMARQUE.

Si l'on obtenoit un plus grand nombre de mineurs et d'approvisionnemens comme, par exemple, 90 mineurs et le reste en proportion, l'on pourroit exécuter un second étage de fourneaux, quand ce ne seroit que sur

les saillans, à défaut de pouvoir en garnir tout le front d'attaque.

Telle est en général la maniere dont on peut se déterminer, dans tous les cas, en raison des moyens que les circonstances produisent.

Passons maintenant au détail des outils nécessaires en proportion du nombre des mineurs.

DÉTAIL des outils nécessaires aux 15 mineurs employés dans le premier exemple, N°. 91.

Outils à terre. Savoir;

Hoyaux simples, ou *Becs-de-canne*; autant que d'atteliers, ci	[illegible]
Pics à feuilles de sauge, id.	15
Louchets de galeries, id.	15
Pioches ordinaires, id.	15
Pelles, id.	15
Trépans, dans tous les cas, le quart des outils ci-dessus, ci	4

REMARQUE.

Si l'on prévoyoit avoir à travailler dans le roc, il est clair que la lenteur de l'exécution forceroit de renoncer à tout projet de contre-mine, si l'on étoit menacé d'une attaque prochaine; mais si l'on croyoit avoir le tems nécessaire, l'on réduiroit à moitié le nombre des outils ci-dessus destinés aux terres, et l'on y ajouteroit les outils à roc suivans.

Outils à roc. Savoir;

Pics à roc, moitié autant que d'atteliers, ci . . .	8
Pics à hoyaux, id.	8
Pinces de différentes grandeurs, de chaque espece	8
Aiguilles, id.	8

Pistolets, id. 8
Curettes, id. 8
Masses quarrées, id. 8
Çoins de différentes grandeurs, de chaque espece 8
Epinglettes, ... 8

Outils de maçons pour percer les revêtemens de contres-carpe.

En général, un de chaque espece, plus qu'il n'y a de débouchés; conséquemment,
Marteaux à deux pointes, bien accérés. 4
Marteaux pointus par un bout et à tête fourchue de l'autre, id. 4
Tranches, id. 4
Ciseaux, id. 4

Outils de charpentiers pour les coffrages.

Scies à main et à débiter, comme ci-dessus de chacunes, ci 4
Haches, ci 4
Serpes, ci 4
Marteaux de menuisiers, autant que d'atteliers, ci . 15
Bouriquets avec leurs cordages, autant que de puits, plus un tiers de ce nombre pour relais, ci . . . 4
Baquets à terre avec leurs ferremens et anses, trois fois le nombre des atteliers, ci 45

Nota. L'on préférera les baquets aux paniers, ceux-ci étant bientôt hors de service.

Les outils en fer seront radoubés à mesure qu'ils s'émousseront, etc.

REMARQUE.

Par des regles de proportion bien simples, l'on trouvera le nombre des outils de chaque espece, nécessaires aux travaux d'un nombre quelconque de mineurs et d'atteliers.

Approvisionnemens en bois.

Pour lès rameaux.

96. Les bois des chassis pour les rameaux seront de sapin, autant qu'il sera possible; ils auront 3 à 4 pouc. de grosseur, et les pieces seront de 14 à 15 pieds de longueur. Chacune d'elles fournira le bois d'un chassis, tout déchet et emploi accessoir compris.

Les chassis étant espacés de 3 pieds, il entre [illegible] de ces pieces dans une toise de longueur [illegible], ce qui fait pour chaque toise [illegible] live, et pour 105 toises, ci . . . . [illegible]
à quoi l'on doit ajouter $\frac{1}{5}$ pour les fourneaux, l'étrésillonnage et accidens imprévus, ci . . 17 [illegible]
Total . . . . . [illegible]

Ainsi, *regle générale*, comptez autant de solives de bois, des dimensions fixées ci-dessus, que de toises de rameaux.

Planches.

Les planches seront aussi de sapin, autant que faire se pourra; elles auront un pied de largeur sur un pouce d'épaisseur.

Il entre 24 bouts de cette espece de planches, et de 4 pieds de longueur, dans chaque toise courante de rameaux. Ainsi pour 105 toises il en faudra 2520 *bouts*, ou le tiers de ce nombre en planches de 12 pieds de longueur, ci . . . . 840 planc.
de plus $\frac{1}{5}$ pour augets etc. 168
Total . . . . . 1008 planc.

Madriers.

Les madriers auront 2 pouces d'épaisseur et 1 pied de largeur. Il faut en compter 3 de 12 pieds de longueur

tout déchet compris, pour chaque coffre de fourneaux; et partant, pour 12 fourneaux, formant les trois trefles, y compris les fourneaux des croisieres, si l'on veut en placer à ces points, ci . . . . . 36 madriers de 12 pi.

Autres menus approvisionnemens.

Grosse toile forte et serrée, propre à faire des saucissons, à raison de 40 aunes pour chaque trefle, ou de 10 aunes pour chaque fourneau, ci . . . 120 aunes.

Sacs à terre, pour mettre dans les coffres ou chambres des poudres, pour fortifier le bourrage autour des fourneaux, 200 par fourneau, et pour les 12, ci, 2400 sacs.

Cordages, d'un pouce de diamètre, à raison de quatre toises par bouriquet, et pour 4 bouriquets, ci, 16 toises.

Lanternes de mineurs, deux à chaque trefle ou *T*, et pour 3 trefles, ci . . . . 6 lanterne.

Lanternes de poste, pour éclairer la défence des galeries. Il n'en faut que deux par galerie dans les places où lesdites galeries ont 6 pieds de haut sur 3 ou 4 pieds de largeur.

Chandelle, ficelle, goudron etc., autant qu'il en entre dans l'approvisionnement d'un front. Voyez la table de Vauban. L'on n'en fait usage qu'en proportion du nombre des atteliers.

Cloux de planches, 20 par toise courante, et pour 105 toises, ci . . . . 2100 cloux.

Broches de 3 pouces de longueur, pour brocher les caisses des chambres, 100 par fourneau, et pour 12 fourneaux, ci 1200

Bois nécessaire pour les galeries.

97. Il entre deux chassis dans une toise courante de galerie, pour chacun desquels il faut une piece de sapin de 24 pieds de longueur et de 5 à 6 pouces de grosseur.

Ces

Ces dimensions réduites en solives, donnent pour une toise courante 3 solives 4 pieds.

Cela posé, il y a d'une part en galerie, 144 toises.
En outre 24 puits à 5 toises de profondeur chacun (1), ensemble, ci 120

Total . . . . 264 toises

Lesquelles 264 toises etant multipliées par 3 solives 4 pieds, donnent, ci . . . . 968 soliv. en 528 pieces de 24 pieds de longueur, et de 5 à 6 pouc. d'équarrissage.

Planches.

Il faut pour chaque toise courante de galerie, 36 bouts de planches de 4 pi. de longueur, d'un pi. de largeur et d'un po. d'épaisseur, ce qui fait 12 planches entieres de 12 pi. de longueur, et pour les 144 toi., ci 1728 planches.

Il faut prendre garde de ne pas s'approvisionner de planches dont la longueur ne soit pas multiple de 4 pieds.

REMARQUE.

Pour peu qu'on veuille faire attention à ce que nous venons de détailler sur les approvisionnemens en bois et autres menus objets, l'on pourra, dans tous les cas, les proportionner à telles données qu'on voudra supposer en ouvriers, et en nombre d'atteliers.

C'est par ces détails, tirés des mémoires de Cormontagne, que je termine ce que j'ai voulu ajouter ici au

(1) Cormontagne ne compte que 3 toises, mais je prends ici la plus grande profondeur, parceque je ne crois pas qu'il faille faire des rameaux en descendant, à moins que ce soit dans un terrain très sec : or notre premiere ligne de moindre résistance étoit de 30 pieds ; ainsi j'estime dans cette hypothèse, le sol de la galerie au niveau du centre des fourneaux.

Traité des mines de Vauban. Pressé par un service très actif, autant que par la progression exhorbitante du prix de l'impression et de la gravure; forcé d'ailleurs de proportionner ce volume aux deux précédens, et voulant encore y ajouter un essai sur l'application du mouvement des leviers à la défense des places, tout me commande de renvoyer au Traité complet que j'ai annoncé, et aux loisirs d'une paix glorieuse et prochaine, les développemens considérables qui manquent encore ici à la science du mineur. Je remettrai même à cette époque la publication de la nouvelle Table des mines, applicable à tous les cas et à tous les systêmes, que j'avois annoncé devoir faire partie des présentes additions. En attendant, les tables de Vauban et de Valiere conservent toute leur utilité, et nos formules peuvent servir à en rectifier les résultats dans toutes les circonstances données.

APPENDICE.

Je me suis apperçu, seulement après l'impression, que la solution de la proposition N°. 67, n'étoit point complette.

En effet, la sphere d'activité de l'un des fourneaux élevés au-dessus de la galerie, pourroit ne pas atteindre la ligne du pied-droit représentée par le point *d* (fig. 63.), pris au niveau du sol de cette galerie, tandis qu'elle atteindroit celle que représente le point *k*, pris au niveau de la clef de sa voûte, parceque celui-ci se trouve beaucoup plus rapproché du centre de cette sphere. De plus, dans tous les cas, la sphere dont il s'agit coupe la derniere de ces lignes sur une plus grande longueur que la premiere.

Pour bien établir la solution du problême, il faut donc élever une perpendiculaire indéfinie *ol*, sur le milieu *o*, du pied-droit, pris entre les points *d* et *k*, l'un au niveau du sol, et l'autre au niveau de la clef de la galerie, puis rapporter la vérification de l'effet des fourneaux *b*, *i*, situés au-dessous de cette perpendiculaire, au premier de ces points, et la vérification de l'effet des fourneaux *a*, *c*, situés au-dessus d'elle, au second.

Quant aux fourneaux qui pourroient être placés sur cette horizontale elle-même, il est clair que la vérification s'en peut faire indifféremment par rapport à l'un ou l'autre des points *d*, *k*, puisqu'ils sont également distans de chacun de ceux de la perpendiculaire élevée sur le milieu de la ligne *dk*, qui les joint.

En vérifiant l'effet du fourneau *a*, il faut donc faire passer un plan *vérificateur* par la ligne *ak*, rapporter cette ligne de *d* en *r* (fig. 64.), puis du dernier point comme centre, décrire le cercle d'activité, qui coupera la ligne *AB*, de la galerie, aux points *s* et *t*, lesquels seront ceux qu'il faudra rapporter sur la figure 44, pour connoître la longueur sur laquelle il faut combler la communication, au niveau de la clef de sa voûte.

Mais comme la vérification faite dans le problême, de l'effet du même fourneau par rapport au point pris au niveau du sol, n'en est pas moins exacte, il en résulte que la galerie devroit être comblée sur une longueur moindre au niveau de son sol, qu'au niveau de sa clef, et que l'exactitude rigoureuse exigeroit que le comblement se terminât, de part et d'autre, suivant la surface de la portion de la sphere d'activité comprise dans le vuide de cette galerie; ce qui seroit aussi difficile dans l'exécution qu'inutile pour l'objet de la proposition.

En conséquence l'on doit prendre pour l'espace à combler, le plus étendu des deux, et faire le remplis-

sage de la galerie, d'à-plomb entre les deux points [illegible] qui le terminent.

Le lecteur voudra bien rétablir cette modification, à la place qui lui appartient, et n'attribuer qu'à la précipitation du travail, et à la distraction occasionnée par divers objets, celle de l'avoir laissé échapper au premier moment où je me suis occupé de généraliser une proposition qui, jusqu'ici, et malgré son importance, n'avoit encore été saisie par aucun mineur.

FIN.

MÉMOIRE

POUR SERVIR À LA DÉFENSE DES PLACES DE GUERRE,

DANS lequel on propose l'usage de quelques armes anciennes, cumulativement avec l'artillerie moderne, dans l'objet d'en affoiblir la force offensive, et de perfectionner la puissance défensive des villes fortes, en suppléant quelques effets que le canon n'a pu produire jusqu'ici

L'objet de cette combinaison est de rendre impraticable, ou au moins tellement long, meurtrier et difficile l'établissement des battèries de breche, que l'assiégeant soit forcé de s'ouvrir tous ses passages au corps de la place, par l'usage seul des mines, et conséquemment d'essuyer toutes les lentèurs, tous les dangers et les incertitudes de la guerre souterraine.

INTRODUCTION.

LES méthodes et les principes exclusifs ne sont, dans la plupart des sciences, que les résultats de l'erreur ou de l'amour-propre de ceux qui les proposent. Cependant dans l'art militaire, où ils semblent encore moins admissibles que dans aucun autre, l'on rencontre, à toutes les époques, des hommes à systêmes, qui, sem-

blables à ces chymistes, auteurs de la médecine universelle, combattent ceux qu'ils qualifient de novateurs dans le métier des armes, pour faire prévaloir des habitudes à côté desquelles ils ne veulent rien admettre, parce qu'elles leur sont personnelles, ou parce qu'elles sont plus particulièrement du ressort des fonctions auxquelles ils sont attachés: l'on a vu chaque arme, chaque opinion se placer au premier rang de l'importance, pour s'attribuer la premiere et la plus grande portion de la gloire. Heureusement, de ce choc qui produit des rivalités, qui tend à jeter du ridicule sur les idées les plus saines, qui fait souvent éclore des erreurs et des faux raisonnemens sans nombre pour défendre des visions, jaillit aussi de tems à autre un trait de lumiere qui place les objets dans leur véritable point de vue, sépare les choses des personnes, et démontre enfin qu'en se tenant à une égale distance des idées extrêmes, des systêmes exclusifs, l'on est à-peu-près au point unique où se trouve le vrai, l'utile.

C'est ce principe, bien apperçu, qui m'a fait penser depuis long-tems, qu'en se gardant à la fois d'épouser l'opinion évidemment exagérée de Folard, qui soutient la supériorité des armes anciennes sur celles dont la poudre a produit l'invention, et d'abonder dans le sens contraire de l'officier d'artillerie qui attribue exclusivement à son canon des effets tels qu'il n'admet aucun agent comme propre à les combattre ou à les suppléer, l'on pouvoit reconcilier ces idées rivales, en joignant l'usage de quelques armes de siege employées par les Grecs et par les Romains, à celui de notre artillerie moderne, dont il m'a paru qu'elles peuvent affoiblir, empêcher ou retarder les effets sous certains rapports, lorsque cette artillerie agit offensivement contre les places de guerre; en même tems qu'elles peuvent seconder, suppléer ces mêmes

effets sous certains autres rapports, quand elle est employée défensivement dans ces mêmes places.

J'essaie aujourd'hui de justifier cette pensée aux yeux des militaires, sans me dissimuler toutes les résistances qu'elle doit éprouver, sur-tout dans l'esprit des hommes que des préjugés d'état ou d'habitude armeront naturellement contre elle. Mais qu'importe à mon objet, qui n'est que d'être utile et non de faire prévaloir une erreur ! Si l'on démontre que mes résultats ne sont qu'illusoires, il en naîtra toujours ce bien, qu'un autre que moi ne reviendra plus à cette proposition, qui n'a point encore été abordée, qui est tout-à-fait neuve en elle-même; et ce sera un sentier de plus qu'on aura fermé à l'erreur, qui séduit aisément une imagination qu'enflamme le desir de découvrir des rapports utiles. Si, au contraire, on ne la détruit pas par des moyens victorieux, elle conduira au moins à des doutes. Ces doutes seuls suffiront dans un gouvernement sage et jaloux de perfectionner ses moyens de défense, pour le déterminer à des essais faciles, peu coûteux, dont les succès peuvent déposer en faveur de mon opinion. Ainsi j'aurai ouvert une nouvelle carriere aux efforts de ceux qui, *jaloux de perfectionner* nos remparts et de rendre plus redoutables à l'ambition ces égides de la tranquillité des peuples, trouveront plus de facilité pour élaborer mon essai, ou pour enfanter en ce genre quelque chose de plus puissant encore.

En attendant, je ne redoute pas les mauvais plaisans qui attaquerent avec des pommes cuites et des parapluies, les pompes que *la Jomariere* proposa, il y a quelques années, de faire concourir à la défense des places, pour inonder les tranchées des attaquans. Je les invite au contraire à revenir à cette aimable façon de discuter les matieres sérieuses, mais je les engage en même tems à renforcer leurs étranges dilemmes, parce que le succès des épreu-

ves faites à Strasbourg, de cette méthode qui leur a paru absurde jusqu'au ridicule, demande désormais des armes plus puissantes pour détruire les résultats physiques qui m'ont déterminé à rappeler ici ce moyen pour l'associer aux agens que je propose, et desquels les pompes tireront quelques secours propres à les rendre de plus en plus efficaces. Si c'est un nouveau champ que j'ouvre à la gaïeté française, je n'ai point à craindre que les bons esprits puissent s'y égarer.

Quoi qu'il en soit, les défenses que j'indique tiennent à l'usage *du levier*, *de la catapulte* et *des tours en charpente* : je les fais agir à couvert des feux de l'ennemi.

Je n'ai jamais cru aux miracles de ces leviers énormes auxquels l'on attribue la durée du siege de Syracuse : aussi n'est-ce pas pour leur confier les mêmes effets qu'ils produisirent sous la main d'Archimede, que je veux les employer.

Cependant c'est la puissance indéfinie que ce grand homme découvrit dans cet agent simple dont se composent tous les autres, qui m'a donné les idées que je soumets aujourd'hui au public militaire.

Ce sont aussi les inconvéniens qui résultent de la détonnation de la poudre, de la fumée qu'elle produit dans les casemates, de l'incertitude du tir des canons, sur-tout des mortiers et des pierriers; enfin c'est la facilité de démonter l'artillerie des places assiégées, mise en batterie dans les positions circonscrites et plus ou moins découvertes qu'on est forcé de lui assigner sur les fronts d'attaque, qui m'ont conduit à l'examen des moyens qui peuvent associer à notre défense un arme qui, sans égaler la puissance du canon, a néanmoins sur lui l'avantage de n'offrir pas la même prise, de pouvoir agir à couvert, et de porter un effet très destructif dans un espace moins étendu il est est vrai, mais dans lequel il

fait que l'ennemi se présente nécessairement dans une disposition qui l'expose à toutes ses atteintes. Et qu'importe en effet, quand il ne s'agit de frapper et de donner la mort qu'à 50 pas de distance, que l'arme que j'emploie, ne porte pas à quatre mille? Il me suffit que l'ennemi soit hors de combat; or celui que tue une balle de mousquet, n'est pas moins anéanti pour moi que celui qu'a mis en pieces un boulet de vingt-quatre. Depuis long-tems l'on est convenu que les grosses armes ne sont utiles que pour atteindre de loin, ou pour renverser les grands obstacles; et que les coups moins puissans, *mais plus multipliés*, produisent une plus grande destruction dans la proximité contre de foibles résistances.

Enfin le meilleur effet de la défense que je tire du *levier* et de la *catapulte*, a exigé que j'employasse des tours en charpente, imitant celles des anciens, mais légeres, cachées au feu des attaques, et n'offrant aucun des inconvéniens de cette vielle et lourde machine.

Ce qui me conciliera peut-être quelques esprits, c'est que mes combinaisons ne gênent en rien les autres moyens de défense. Si mes dispositions demandent quelques modifications dans la largeur des fossés et dans celle des chemins couverts, ces changemens n'alterent aucun principe de la bonne fortification; ils laissent subsister tous ceux que l'on regarde généralement comme devant commander au génie des inventeurs. L'on verra même qu'une partie de mes procédés est applicable à tout ce qui existe, et que les complications, comme l'esprit de dépense, ont été également écartés de mes résultats. Je me hâte de les développer, de rapporter et de combattre sans préjugé les objections qu'on peut leur opposer et qui m'ont été faites: je serai moi-même un attaquant obstiné de mes défenses.

DISPOSITION du tracé d'un front de fortification, pour la meilleure application de la défense des leviers.

I. Soit, figure premiere, un front de fortification tracé suivant les principes de Vauban, ou les regles les plus communément suivies. Voici les changemens que j'y fais pour lui appliquer dans toutes ses parties la défense des leviers ;

1. Je suppose les revêtemens sans talus, mais cette condition n'est point essentielle.

2. Je couvre les faces des bastions par les contre-gardes *a*, auxquelles je ne donne que 30 ou 33 pieds de largeur ; dimension la plus avantageuse sous le rapport de la difficulté qu'elle oppose à l'ennemi, qui n'y trouve pas l'espace nécessaire pour y établir ses batteries de brèche même dans le systême ordinaire de la défense.

Cette perfection s'accorde avec le besoin de rapprocher l'ennemi de mes leviers, dont la longueur est limitée ainsi que nous le verrons à sa place.

3. Le fossé du corps de place, entre son revêtement et la gorge des contre-gardes, n'a que 30 pieds de largeur. L'on peut en augmenter la profondeur proportionnellement à ce rétrecissement, qui devient alors un avantage, parce qu'il est évident que les fossés profonds sont plus difficiles à franchir que ceux qui ne sont que larges, à cause de la hauteur des descentes, du tems qu'il faut pour les construire, et de la diminution de l'effet des batteries que l'assiégeant oppose directement aux flancs des bastions sur le prolongement de ces fossés, où il ne trouve plus que l'emplacement de deux pieces de canon lorsqu'un fossé est réduit à 30 pieds.

4. Je construits la tenaille *b*, à la même distance, en lui donnant la même largeur et le même relief qu'aux

contre-gardes, ensorte qu'elle forme avec elles une sorte de double enceinte extérieure, parallele au corps de place, et qui n'est rompue qu'aux points *c*, entre le prolongement des lignes de défense et celui de la gorge des contre-gardes, afin de laisser aux feux des flancs opposés toute leur action pour la défense des fossés.

5. J'établis la contrescarpe opposée aux contre-gardes, parallèlement à leurs faces, en ne donnant aux fossés *d*, comme aux précédens, que 30 pieds de largeur; ensorte que de l'escarpe du corps de place à la contrescarpe, il y a 90 pieds de distance, ou tout au plus 93, ce qui revient à peu de chose près à celle que l'on établit ordinairement entre ces deux revêtemens, et conserve conséquemment toute l'activité des flancs, dans cet espace.

6. Le tracé de la demi-lune est en tout soumis aux dimensions des ouvrages précédens. La figure montre que j'en aligne la contrescarpe à 5 toises de l'angle de l'épaule des bastions, afin de me resserrer le plus qu'il m'est possible dans un espace que je puisse remplir avec la contre-garde *e*, la demi-lune *f* et le réduit *g*, où l'ennemi se trouvera en derniere analyse excessivement resserré, s'il y parvient, et où il essuiera la supériorité des feux cachés que je lui réserve dans les casemates de la tenaille. Les fossés *h*, *i*, *k*, de ces ouvrages, sont mieux défendus que dans la construction ordinairement d'usage, puisqu'ils sont protégés par deux flancs.

7. Ma premiere opinion étoit de supprimer le chemin couvert. Je considérois que si cette partie de fortification est très importante pour organiser les sorties et les recevoir à leur rentrée; que si elle facilitoit d'une autre part les retours offensifs par le moyen des places d'armes rentrantes, alors que les places d'armes saillantes sont déja occupées par l'ennemi, il n'étoit cependant

pas difficile de remplacer ces effets et de les produire sans que le chemin couvert existât tel qu'il est, sous une forme qui offre de nombreux inconvéniens qui n'ont échappé ni à Vauban, ni aux autres grands maîtres. Et en effet, que l'on fasse attention à cette vérité toujours justifiée par les événemens, *que tout chemin couvert attaqué, est un chemin couvert pris ; que tout chemin couvert pris conduit bientôt à la capitulation* : il paroît d'abord évident sous ce rapport séparé, qu'il vaut mieux que l'espace qu'il occupe soit joint au glacis, lorsqu'on peut se créer un moyen d'en rendre l'accès plus difficile. Quant à l'avantage des sorties, voici les réflexions qui se présentent. En revenant toujours à Vauban, l'on voit qu'il les craint plus qu'il ne les recommande. Rarement elles ont assez de succès pour pouvoir détruire les travaux de la tranchée au-delà de la troisieme parallele, plus souvent leur retour est fâcheux, et l'événement est à regretter, même quand il n'a péri qu'un homme contre dix des assiégeans. L'inconvénient des défilés par lesquels il faut qu'elles sortent et qu'elles rentrent dans le chemin couvert, et qui présentent des directions données à l'artillerie que l'attaquant, peut diriger sur des troupes en colonnes, a produit souvent les plus funestes effets, sur-tout pour la retraite, quoiqu'elle fut protégée par tous les feux de la place. Ces considérations posées, j'avois pensé qu'en conservant la faculté de faire des sorties moins fortes, qui ne s'étendroient pas au-delà de la troisieme parallele, ou de 80 toises des saillans des chemins couverts, et en faisant ces sorties en ordre de bataille, je remplacerois les effets les plus essentiels des chemins couverts, dont la suppression m'offroit, indépendamment du rapprochement, le précieux avantage d'exhausser la contrescarpe, et de couvrir parfaitement les revêtemens des ouvrages, en-

rite que pour en battre le pied, il en résultoit la nécessité que l'assiégeant s'établît sur la crête même du glacis, et que son artillerie tirât sous un angle d'autant plus défavorable à son effet, que ces revêtemens auroient moins de talus. Pour atteindre à ce but, j'avois imaginé d'établir au pourtour de la contrescarpe, des bras de fer solidement construits, propres à être mis en saillie ou repliés à volonté contre le revêtement, sur lesquels je plaçois, à 4 pieds au-dessous de la crête du glacis, formant alors la tablette de la contrescarpe, une galerie de 6 pieds de largeur, au moyen de simples madriers placés sur ces bras, que j'espaçois de 3 pieds en 3 pieds. Le bord intérieur de cette galerie, ou petit chemin couvert en charpente, étoit garni d'une lisse d'appui, qui s'engageoit aisément dans des montans que je laissois à l'extrémité des bras de fer. Je me proposois de communiquer à la galerie par des échelles que l'on peut aisément multiplier; et pour en sortir en ordre de bataille, je formois en planches deux gradins, n'ayant que 8 pouces de giron et 16 pouces de hauteur.

Des officiers instruits à qui je communiquai cette idée, y trouverent des inconvéniens. Ils y virent la facilité qu'auroit l'ennemi, en poursuivant la sortie, de la joindre, de la culbuter dans sa galerie, d'y sauter avec elle, et d'égorger aux yeux des défenseurs de la place, sans qu'on pût leur donner aucun secours, tous ceux qui auroient été chargés d'une si périlleuse expédition. Ils regrettoient le sacrifice de la faculté des retours offensifs par le moyen des places d'armes rentrantes.

Peut-être la nouveauté de la proposition étonna-t-elle au point que ces avantages furent plus estimés qu'ils ne valent réellement. D'une part, l'on pourroit penser que plus la crête du glacis sera rapprochée des feux de la place, moins l'ennemi osera hazarder cette poursuite qui pour-

roit ne lui faire joindre la sortie corps-à-corps qu'après en avoir essuyé le plus terrible effet. Mais s'il arrivoit, malgré cette considération, qu'il tentât l'action, il est bien certain qu'après avoir égorgé la sortie dans la galerie dans laquelle il se seroit précipité avec elle, le dernier des vainqueurs y périroit à son tour. Ne pourroit-on pas, et à plus forte raison, avancer la même objection contre les sorties ordinaires, qui, acculées contre les palissades des chemins couverts, ou embarrassées dans les défilés des barrieres, peuvent y éprouver le même sort? Alors je dirois ; qu'importe que le lieu de la destruction soit là, ou sur mon échafaudage? Si l'on m'observe que des feux d'infanterie partent du chemin couvert pour protéger la retraite d'une sortie qui se forme en colonne pour rentrer par une barriere, je réponds que rien n'empêche qu'une disposition semblable, protege également la mienne. Il ne s'agira pour cela que de disposer les tirailleurs par cinquante de front, laissant entre chaque front de ce nombre, à-peu-près 100 pieds de distance, et de former la retraite par intervalles semblables, dans l'ordre des retraites en échiquier. Il ne faut d'ailleurs point perdre de vue que le feu des remparts des ouvrages de la place est ici quâtre fois plus rapproché de la crête du glacis, que dans le cas de l'existence d'un fossé de 90 pieds et d'un chemin couvert de 30 ; protection qui équivaut bien à l'autre. Je remarque enfin, que je pourrois donner jusqu'à 15 pieds de largeur à mon chemin couvert artificiel, si je l'établissois sur des chevalets ; que si les ricochets peuvent l'endommager, des remplacemens de planches sont toujours faciles, et que cet échafaudage seroit susceptible d'être détruit en un instant par l'assiégé, à l'époque où le resserrement auquel il est réduit lui rend toute sortie impossible ou inutile.

A l'égard de la perte des retours offensifs qui partent des places d'armes rentrantes, pour reprendre les autres parties du chemin couvert, supposées envahies par l'assiégeant, ne pourrois-je pas ici faire la question bien simple, *s'il ne vaut pas mieux ne pas lui laisser prendre cet espace si facilement, que de se mettre dans la nécessité de le reprendre, pour le reperdre un instant après?* Que l'on calcule, sans préjugé, le tems pendant lequel les chemins couverts ont retardé la prise de la plupart des places; ce qu'ils ont coûté; l'incertitude, le vacillement même dans lequel se trouve Vauban, quand il donne des conseils sur les meilleurs moyens de les disputer; combien leur défense dégoûte l'assiégé, ébranle son moral dès qu'elle est abandonnée: l'on verra peut-être qu'il y a beaucoup à rabattre de la confiance qu'ils doivent inspirer; et qu'il y a de meilleurs effets physiques et moraux à attendre d'une défense qui s'empare plus solidement de l'espace qu'ils occupent, et telle que je la détaillerai.

Telles sont les principales raisons qui militent pour et contre cette conception, trop neuve sans doute, trop opposée à tout ce qui s'est pratiqué jusqu'ici, pour n'avoir pas d'abord un grand accueil à espérer.

Après avoir pesé toutes ces considérations, peut-être fussé-je resté invariablement attaché à mon opinion, si je n'avois eu d'une part à me défier de cette aveugle et trop fatale complaisance que l'on a pour les systêmes que l'on a enfantés, quoi que l'on fasse avec franchise et courage pour s'en dégager; et si d'une autre, je ne devois pas plus que de la confiance aux lumieres des camarades qui m'ont présenté les objections que j'ai rapportées. Il faut donc que j'avoue que si je ne suis point convaincu contre moi même, je n'ose dire que je le suis contre mes critiques, et que je crois de-

voir laisser là question en son entier pour la livrer à la solution du public, qui, alors même qu'il traiteroit ma proposition d'hérésie militaire, m'en accorderoit au moins l'absolution en faveur des résultats que j'en espérois pour la meilleure défense de la patrie. Au surplus cette question ne sera suffisamment éclairée que lorsque j'aurai développé aux yeux du lecteur les moyens de défense que je substitue à ceux qui résultent d'un chemin couvert organisé d'après les principes reçus.

8. En attendant, j'observe qu'il est possible de rapprocher les deux systêmes en faisant un sacrifice de part et d'autre. Pour cet effet, l'on peut construire un chemin couvert de 15 pieds de largeur, ayant 9 pieds de terre-plain, et si cette largeur ne suffisoit pas aux yeux des trop rigoureux observateurs des veilles règles, il seroit facile d'y ajouter 6 pieds de plus, au moyen des bras de fer chargés de planches, ainsi que je l'ai proposé pour le chemin couvert total. Je crois alors que toute objection raisonnable contre cette disposition (1) seroit détruite, et j'atteindrai encore mon but défensif, en employant des leviers de 90 pieds de longueur, au lieu de les réduire à 75 comme le premier cas le supposoit.

L'une et l'autre construction, sont respectivement exprimées par les profils figure 2 et 3. L'on voit dans ces figures, que je soutiens le parapet des ouvrages extérieurs par un mur de revêtement, ce qui ne présente ici aucun défaut, parce que ce mur est couvert par le glacis, et qu'il donne la faculté avantageuse de rétrecir de 6 pieds la capacité de ces ouvrages pour la rendre inhabitable au canon de l'ennemi, sans réduire l'épaisseur des parapets au-dessous de 15 pieds, dont 3 sont en maçonnerie de briques construite en arceaux de

(1) Il est beaucoup de chemins couverts plus étroits.

décharge pour mieux résister aux coups qui pourroient découvrir ce mur et l'atteindre de loin. Enfin, le profil fig. 2, fait voir que je cherche les terres nécessaires à un plus grand remblai de mes glacis, en prolongeant ce glacis au-delà de sa rencontre avec le terrain de la campagne, d'une quantité suffisante pour fournir à tous les besoins de ce genre. A la limite de ce plan, je fais un talus de revers, et cette construction me soumet d'autant plus la tranchée et les mouvemens de l'ennemi, sur toute l'étendue qu'il embrasse. L'on voit encore que la pente du plan du glacis est le prolongement de la plongée des ouvrages, et qu'elle est fixée à un pouce pour pied.

Je n'entre point ici dans les détails des cas où le manque de terre force de la chercher au loin, ni de ceux où la contexture du sol offre des rampes plus roides, et où il faudroit recourir aux déblais de quelques avant-fossés, à des rasemens de monticule, etc.; toutes ces considérations particulieres sont étrangeres à mon objet, que je présente sous un aspect général; sauf les modifications commandées par les circonstance, modifications que sauroit toujours saisir celui qui voudroit organiser une place conformément à mes vues.

9. Mais je dois revenir à une difficulté qui me fut encore opposée. Les saillans, m'a-t-on dit, offrent, dans le sens de la capitale, beaucoup plus de longueur que dans le sens perpendiculaire au revêtement : il vous faudra donc des leviers plus longs pour porter leur action à la même distance de la crête du glacis; ou bien, si vous arrondissez celle-ci en cercle concentrique avec le sommet de la contrescarpe, cet arrondissement ne sera pas flanqué, et l'avantageuse saillie des places d'armes qui tiennent l'ennemi dans l'éloignement du fossé, sera supprimée.

Voici la construction par laquelle je détruis tout ce que ces inconvéniens peuvent avoir de réel. 1°. Je rejette tout arrondissement à la contrescarpe des ouvrages. 2°. Je donne vis-à-vis ces saillans, 30 pieds de largeur au chemin couvert, afin d'en conserver la saillie, et d'obliger l'ennemi à établir ses cavaliers de tranchée à la même distance de la place que dans le système ordinaire. 3°. Afin d'ôter à l'ennemi le dessein de s'attacher de préférence à établir ses batteries de breche contre les saillans, et sur-tout pour empêcher qu'en enfilant le fossé il contre-batte les flancs qui les défendent, et fasse breche aux revêtemens qui se présentent à elles sur le prolongement de ces mêmes fossés, je construits, sur chaque saillant, une bonnette *a fig. 4*, de 15 pieds d'épaisseur, que je voudrois former de grosses pierres de taille bien liées, scellées avec de forts crampons de fer, et traversées verticalement de distance en distance avec de gros boulons pour en consolider de plus en plus la masse. Celle-ci reposeroit sur la voûte de la galerie construite au-dessous pour l'usage que j'indiquerai ailleurs, et je croirois la rendre d'une destruction excessivement difficile, si les joints des pierres étoient taillés obliquement en voussoires dont le point de concours, pour chaque branche de la bonnette, seroit le saillant du revêtement de l'ouvrage qu'elle doit couvrir. Mais, sans doute, cette construction répétée à tous les saillans, paroîtra trop chere aux grands économes, à ceux qui ne veulent de grands effets que par les petits moyens. Je me réduirai donc, si on l'exige, à une simple masse en terre, soutenue en dedans par l'exhaussement de la contrescarpe, jusque sous la ligne de plongée. L'on revêtira cette masse extérieurement d'un mur de soutenement en briques, construit en arceaux de décharge, et qui aura 15 pouces de moins

la hauteur que l'exhaussement de la contrescarpe, afin que le plan supérieur de la bonnette soit dans celui de la plongée. Comme il faudra que l'ennemi vienne attaquer ce masque par la sape pour y ouvrir les embrasures de ses batteries, il sera toujours forcé d'agir soit sur le glacis, soit dans cette partie du chemin couvert, sous le domaine de mes leviers ; ce qui suffit encore à mon objet.

La longueur des branches de la bonnette est déterminée par une perpendiculaire *bc*, élevée à l'escarpe, à 10 toises de son angle flanqué. Enfin, je place sur le prolongement de ces branches des traverses propres à les défendre, à favoriser les retours offensifs s'ils étoient nécessaires. Ces traverses construites en crochet, comme la figure l'indique, couvrent une trouée par laquelle l'*ennemi établi* sur la crête du glacis pourroit battre le revêtement, et la trouée est elle-même battue par l'ouvrage, pour éviter l'angle mort qui fût résulté de la jonction du parapet de la traverse à la branche de la bonnette. L'on voit que derriere cette traverse le chemin couvert reprend sa largeur de 15 pieds, afin de soumettre d'autant mieux et suivant mon principe, son couronnement à l'action de mes défenses.

Une disposition analogue à celles des saillans, seroit faite dans les places d'armes rentrantes. Je n'épuiserai pas ici cette matiere de détail, que chaque officier du génie sauroit aisément saisir en suivant l'esprit de mes opérations. Les autres dispositions seront expliquées quand j'aurai donné la description des armes que je propose, leur usage et les effets que j'en attends. Je termine donc ce que je viens de dire du tracé d'un front de fortification propre au plus grand développement de ces effets, en observant qu'aucune regle essentielle ne s'y trouve altérée, et que toutes les places pourroient

être réduites à ces formes, qui promettent d'ailleurs des réductions dans les développemens. Quant à l'usage de la caponniere *l* (*fig.* 1.) et de ses branches *m*, *n*, son tracé le présente aux yeux, sans qu'il soit besoin de l'expliquer.

Du Levier défensif.

10. Ce levier, qui d'abord ne devoit avoir que 70 pieds de longueur totale en supprimant le chemin couvert, en doit avoir nécessairement 90, en conservant un chemin couvert de 15 pieds, afin que, placé sur le même point d'appui, son extrémité atteigne à la même distance de la crête du glacis où il s'agit d'empêcher l'établissement d'une tranchée et des batteries de breche. Il doit être formé de bois de sapin, de pin ou de peuplier, afin de réunir à la légèreté l'avantage de la longueur des fibres, et, s'il se peut, l'adhérence qui résulte de la résine, qui, dans le pin et et sapin, en forme en quelque sorte le ciment, ou du moins les rend plus flexibles et les fait mieux résister à la rupture. Le cedre, quoique plus pesant, y paroît également propre, parce qu'il distile une résine semblable, et qu'il est le bois le plus capable de résistance que l'on soit dans l'usage d'employer aux mâtures des plus grands vaisseaux.

Quoique l'on trouve des sapins et des cedres de 120 à 130 pieds de hauteur, il ne faut pas que le levier défensif soit d'une seule piece. Il doit avoir, indépendamment de son armure, qui sera de fer, 76 pieds 6 pouces de longueur, et doit être composé de trois morceaux entés l'un sur l'autre. Sa premiere partie aura 36 pieds de longeur; la seconde sera de 24 pieds, non compris 6 pieds d'enture; la troisieme aura 16 pieds 6 pouces, non compris 4 pieds d'enture. Sa forme peut être ronde, octangulaire comme les mâts, ou bien

quarrée

quarrée. Il suffira de lui donner 100 à 120 pouces quarrés de base au gros bout, réduite à 16 ou 20 pouces au petit bout, qui, dans tous les cas, sera arrondi sur 2 ou 3 pieds de longueur, afin de faciliter l'emboîtement et le dégagement de l'armure. Ce levier ne devant porter que son propre poids et celui d'une charge qui n'excédera pas 50 liv. à l'extrémité de son plus grand bras, il paroît qu'il seroit avantageux de renforcer l'une de ses dimensions de grosseur, au dépend de l'autre, ensorte, par exemple, qu'il ait 12 pouces 6 lignes au gros bout dans le sens vertical, quand il seroit suspendu horizontalement sur son point d'appui, et seulement 8 ou 9 pouces d'épaisseur dans le sens perpendiculaire au premier. Alors sa coupe formeroit un rectangle; mais l'extrémité destinée à recevoir l'armure devroit demeurer ronde, ou bien la douille de l'armure être disposée à s'ajuster à la forme rectangulaire, qui, à ce point, seroit réduite à 5 pouces 4 lignes dans le sens vertical, sur 3 à 4 pouces dans le sens horizontal.

L'assemblage de cet engin seroit suffisamment solide s'il étoit formé à queue d'hyronde, et renforcé sur les joints par des bandes de fer de 2 pouces de largeur et 4 lignes d'épaisseur, ainsi que l'exprime la fig. 5. J'y ajoute deux frettes de 4 pouces espacées de 3 pieds. Dans cet état, l'on conçoit que la somme des épaisseurs qu'il faudroit que le poids du levier rompît dans cette partie, est égale à son épaisseur totale, et qu'il faudroit en outre qu'il brisât, dans le sens de leur largeur, toutes les lames de fer qui s'arcboutent réciproquement à tous les rentrans de l'assemblage, qu'il rompît aussi les frettes, à moins que la rupture ne se fît dans le point du milieu où les deux pieces ont le plus d'épaisseur, ce qui n'est point vraisemblable, et ce que l'on pourroit d'ailleurs prévenir par une troisieme frette placée à ce point. Au surplus,

s'il falloit jumeller l'assemblage, l'assurer par des cordages comme les mâts, lui donner enfin une sur-épaisseur à chaque ente, rien n'empêcheroit de suivre à cet égard les procédés en usage dans la marine ; mais tant de précaution nous paroît inutile ; car si le mât d'un vaisseau doit résister à l'effort prodigieux des tempêtes dont l'action se dirige perpendiculairement à sa longueur et vers son extrémité ; s'il doit porter en outre les vergues, les cables, en un mot une grande masse d'agrêts, le levier défensif n'a besoin que de porter son propre poids, (qui agit également dans le sens perpendiculaire à sa longueur lorsqu'il agit horizontalement) ; poids auquel il n'est rien ajouté que celui de son armure et d'une bombe de 8 pouces qui n'excede pas 50 livres : or, cette charge totale n'est pas au-dessus de 890 livres pour un levier de peuplier, ni de 1000 pour un levier de pin ou de sapin. Et si, pour se rendre compte des contre-poids avec lesquels il faudra le mettre en équilibre, l'on mesure les longueurs différentes des deux bras séparés par le point de suspension, l'on trouve qu'il n'y a pas 300 liv. à ajouter à ces sommes, et que le plus pesant de ces systêmes n'agit sur le point d'appui qu'avec une force de treize quintaux.

L'on doit faire attention que s'il ne s'agissoit de calculer que l'effet du propre poids du levier pour occasionner sa rupture, il faudroit considérer celui de chacun de ses bras comme attaché seulement au centre de gravité de ce même bras, ce qui rapproche considérablement cette action du point d'appui, dans le bras le plus grand et le plus foible, parce qu'il diminue à mesure qu'il s'alonge ; tandis que ce rapprochement est moindre en proportion dans le bras le plus court et le plus gros, parce qu'il augmente au contraire à mesure qu'il s'alonge. Je conviens néanmoins que la meilleure

maniere de juger de ces effets, après les avoir combinés théoriquement en géometre et en méchanicien, seroit de les soumettre à une expérience. C'étoit l'opinion de quelques membres du comité des fortifications dont j'ai fait partie cette année; et certes ce n'est ici ni le tems, ni la complication, ni la difficulté, moins encore la dépense, qui peuvent s'y opposer, dût-il même en résulter la démonstration physique que cette machine, qui me séduit par sa simplicité, ne peut jamais être utile à l'objet auquel je voudrois l'appliquer. Tant que cette épreuve n'aura pas été faite, la certitude morale que j'ai du bon effet que doit produire le levier, balancera celle des difficultés que l'on m'oppose.

De l'armure du levier défensif.

11. L'armure que j'adapte à l'extrémité du levier défensif, n'est autre chose qu'une lame droite *ab* à double tranchant, bien acérée, de 10 pi. de longueur, de 6 po. de l'argeur, et de 6 ou 8 lig. d'épaisseur au dos, dont la coupe perpendiculaire est représentée par *cd* (*fig.* 7). Les tranchans sont d'inégale largeur. Celui *ed*, qui doit agir de haut en bas comme un sabre, a 4 pouc. 6 lig., tandis que celui *ec*, qui doit agir de bas en haut, n'a qu'un pouce, son principal objet étant d'empêcher que les hommes saisissent l'armure avec les mains. La tête ou le renfort *e*, présente une coupe quarrée.

Il seroit avantageux d'adapter latéralement aux côtés de cette tête, deux autres lames de 15 ou 18 lig. de largeur, afin que cette arme coupât également l'ennemi qu'elle pourroit rencontrer dans son mouvement horizontal.

A un pied de distance de l'extrémité *b* de cette espece de cimetere, doit être un [illegible], dont la saillie soit suffisante pour empêcher de couler vers l'autre extrémité *a*, tout objet qui seroit suspendu entre *e* et *b* de maniere à

conserver la liberté de se mouvoir le long de la lame. Plus loin, en *f*, à un pied du point *e*, sera un second bouton semblable pour empêcher le mouvement vers *b*; d'une large pioche adaptée à un chassis en fer *fg*, dans lequel pourroit passer la lame, et que l'on fixeroit dans sa position par un chaînon *ge*, qui s'arrêteroit en avant du point d'arrêt *e*, ensorte que cette pioche seroit susceptible d'être placée ou déplacée à volonté, selon les instans où il conviendroit, ou non, de la mettre en usage ainsi que je le dirai par la suite.

La lame *ab* ne forme qu'une seule piece avec un bras de fer *ah* dont la coupe perpendiculaire à sa longueur est représentée par la fig. 8. Ce bras fait avec elle au point *a*, un angle *hab* de 135°. Cet ensèmble, qui n'est qu'un levier courbé, est percé en *a* d'un trou rond, afin de pouvoir le traverser d'un boulon de 6 ou 8 lignes de grosseur, qui doit lui servir d'axe de rotation. En dessous, et perpendiculairement à *ab*, est une lame pointue *ai*, à deux tranchans, de deux pieds de longueur, qui fait partie de cette arme et qui suit tout les mouvemens des branches *ab*, *ah*.

oa est une emmanchure fourchue, destinée à recevoir l'anneau de l'armure et son boulon *b c* (fig. 9); à l'extrémité de la branche dont la fig. 10 est la coupe, est une douille *lk*, composée de quatre branches de fer *a*, *b*, *c*, *d* (fig. 11.), qui tiennent à un bout de cylindre creux qui doit recevoir l'extrémité *c* du levier. Ces quatre branches sont recourbées en dessus en *a*, *b*, *c*, *d*, d'une quantité égale à l'épaisseur de deux colets de fer, dont l'un est représenté en *fghi*, au profil. Ces colets sont brisés en *a*, *b* et *c*, et formés à charnieres en *a* et *c*, pour que les deux portions circulaires *ab*, *bc*, puissent se recroiser en *b*, où des anneaux égaux formés à leurs extrémités doivent s'ajuster l'un vis-à-vis de l'autre, afin

d'y pouvoir passer, dans le sens de la longueur du levier, le boulon *no* (fig. 6), qui doit serrer fortement les branches de la douille contre le levier par le moyen des coliers. Mais comme rien n'empêcheroit encore cette douille de glisser en avant, et de se dégager du levier, elle doit être retenue par les clous *f*, *g*, *h*, *i* (fig. 11.), qui ont sur le fût du levier une saillie suffisante.

Dans cet état, l'on conçoit que l'armure est solidement attachée au levier, et qu'en attachant au point *h* (*fig.* 6), où l'extrémité du bras *ha* est percée, une corde ou un chaînon *hm* passant à travers un piton ou sous une virole *m*, pour en faciliter le mouvement, cette corde étant prolongée jusqu'à l'autre extrémité du levier, y facilitera d'une maniere simple le mouvement de haut en bas et de bas en haut, de la lame *ab*, qui pourra prendre toutes les positions qu'on voudra, depuis la verticale que lui donnera son propre poids, en laissant aller la corde, jusqu'à la position inclinée *qap*, dans laquelle le point *h* se trouvera ramené en *q*, en donnant à cette corde sa plus forte tension. Cette tension s'operera, à l'aide d'un tourniquet, d'une manivelle, ou même d'une simple poulie fixée à son autre bout, comme on le voit en *a*, fig. 3.

Lorsque la lame sera élevée comme en *ap*, il est clair qu'en y attachant par un simple anneau, ou par un crochet *cd* (*fig.* 12), une bombe *b*, ce projectile, et tout autre objet de cette espece, y sera soutenu par l'effet de sa propre pesanteur. Alors si on cede à cette pesanteur jointe à celle de la lame, la bombe baissera et demeurera suspendue jusque dans la position horizontale *ae*. Mais si l'on cede plus encore, elle glissera le long de *eb*, et tombera sur l'horizon, ou sur tout autre plan, directement au-dessous de l'extrémité *b* du levier.

Il résulte donc de cette disposition que, par un mou-

vement simple, le levier défensif pourra porter des bombes et des artifices de toute espece à tel point que l'on voudra, en même tems qu'il pourra tailler de haut en bas et de bas en haut, avec plus de force que ne le feroient dix bras vigoureux; il en résulte qu'il pourra produire le même effet horizontalement, si l'on y ajoute les deux lames *ef*, *eg* (fig. 7). Ces lames, ainsi que celle *ec*, seront un peu émoussées par le frottement du crochet de la bombe qui coulera suivant *eb* (*fig.* 6.); mais elles conserveront toujours assez de tranchant dans cette partie, pour ne pouvoir pas être saisies avec la main, ni retenues ainsi avec une force suffisante pour arrêter le mouvement du levier.

12. Lorsque je soumis cette idée à la discussion, l'on m'objecta la facilité d'arrêter le mouvement avec des cordages à nœuds coulans, et différens autres trébuchets avec lesquels on pense pouvoir saisir le levier dans sa plus grande action, même sous le feu du canon et de la mousqueterie de la place, comme on arrête un cerf dans sa course, sans considérer qu'il faudroit que *les chasseurs au levier* le guettassent à découvert, et fussent préparés à lui interdire le vol rapide et irrégulier de l'hyrondelle.

Je suis loin de céder à cette difficulté, que l'on pourroit au surplus aisément essayer, en écartant de ceux qui emploieroient ces tours d'adresse, les dangers qu'ils pourroient courir. Cependant, pour atténuer cette objection aux yeux de ceux qui lui donnent une importance que l'on veut supposer d'après les seules données de l'imagination, je me suis conservé la faculté d'abandonner l'armure à l'ennemi à qui le hazard auroit procuré celle de la saisir sans qu'il m'eût été possible de la dégager et de l'en punir. Pour cet effet, j'ai donné aux collets la construction détaillée précédemment, à la-

quelle j'ai ajouté de quatre ressorts qui, comprimés par les portions mobiles *a b*, *c b* (fig. 11.), quand les collets sont fermés, se restituent nécessairement, et poussent ces branches en dehors dès que le boulon *n o* (fig. 6.) est tiré hors de sa position par une corde séparée que j'attache à son extrémité *o*, et que je meus facilement et à volonté, de la même maniere que celle qui produit le mouvement de l'armure. Alors l'armure n'étant plus retenue par le haut, et faisant nécessairement la bascule, tombe et reste à celui qui la tient. Le levier en reçoit un instant après un autre, ainsi que nous le verrons plus bas.

Rien n'empecheroit de dégager en même tems que le levier, la corde *m h* par le moyen d'une autre petite attache qui prendroit de *n* en *h*; mais si l'on pensoit que c'est donner à cette machine la complication des cordages d'une mâture, il n'y a pas de difficulté à couper la corde *m h*, son remplacement étant extrêmement facile.

De la disposition et de l'action des leviers défensifs.

13. Je propose d'établir des leviers défensifs près des contrescarpes, et dans des casemates pratiquées derriere les escarpes de tous les ouvrages qui composent un front d'attaque.

Des Leviers qui doivent être placés au pourtour des contrescarpes, et des Tours en charpente destinées à les porter.

14. Pour disposer et manœuvrer convenablement les leviers que je place [illegible] des co[illegible]escarpes, je construits en charpente, d[illegible] tours [illegible]rrées (fig. 13.), de 18 pi. de hauteur et [illegible] pi. de côté à la base, réduites à 6 pi. de

côté au sommet, ensorte que les arêtes de ses angles forment celles d'une pyramide quarrée tronquée *abcd*. L'assemblage de cette machine est suffisamment exprimé par le dessin et par les cottes. L'on voit qu'elle est d'un poids très médiocre et portée sur deux aissieux semblables à *cd*, ayant des extrémités de fer solidement adaptées à une piece en bois de 8 po. d'équarrissage, afin de pouvoir mouvoir ces tours sur des roulettes *c*, *d*, de 3 pi. de diametre et de 6 ou 8 pouc. d'épaisseur.

Sur la plate-forme *ab* s'éleve un montant de 6 pieds, assujéti dans sa position verticale par des liens, suivant les regles de l'art de la charpenterie. Ce pivot est terminé par un boulon de fer *f*, fixé sur une platine. Cette platine est elle-même portée à l'extrémité d'une branche de fer dentelée *fe*, qui est reçue dans le montant ou pivot, qui doit être creusé à cet effet. La branche de fer, qui a 1 pouce sur 18 lignes d'épaisseur, est destinée à faire l'effet d'un cric, à l'aide d'une manivelle *gh*, qui porte dans son milieu la roue d'engrenage, et sur ses côtés les roues d'arrêt nécessaires.

C'est sur l'extrémité du boulon *f* que porte le levier; et l'on conçoit qu'étant en équilibre sur ce point, on pourra l'élever de plusieurs pieds, suivant la hauteur laissée entre l'extrémité inférieure *e*, et le point où l'on appliquera la manivelle du cric; il suffira que cette hauteur soit égale à ce qui manque à la hauteur totale *fn* du systême pour atteindre à celle de la contrescarpe, afin qu'on puisse incliner ce levier suivant le plan du glacis. La figure indique que le levier est renforcé vers le point d'appui *f*, sur une longueur de 4 pi. 6 pouc. de lames de fer boulonnées et frettées, afin de le garantir de la rupture à ce point sur lequel pese toute sa charge.

Quant au rapport des deux bras de levier, le petit bras *fi*, étant de 15 pi. et la longueur totale de l'engin

de do, ce rapport est celui de 1 à 5. Ainsi, après avoir balancé la pesanteur des deux bras, nous supposons qu'on suspend à l'extrémité *i* du petit bras, un contre-poids de fer coulé ou quelques bombes, non pour établir un exact équilibre, mais un rapport de puissance, tel que celle qui pèse à l'extrémité du grand bras, supposé dégagé de toute addition d'artifices ou d'autres objets, l'emporte de 10 l. sur l'autre, ensorte que l'on ait besoin au point *i* d'un effort équivalent à un peu plus de 50 l., pour faire baisser le point *i*, au moyen d'un cordage ou d'une chaîne *ip*.

Les mouvemens du levier ayant besoin d'être précis et réglés jusqu'à un certain point, voici comment je les opere.

Je donne au levier un second support *mo*, formé d'une piece de bois de 4 ou 5 pouc. d'équarrissage, qui porte à son extrémité *o* un collet de fer tournant autour du montant *ef*, de façon que le bras *mo* puisse faire tout le tour d'horizon, comme s'il s'agissoit de décrire par un de ses côtés un cône droit, dont l'axe seroit une partie de la ligne *fe* passant par le centre du montant. Le collet *o* est retenu à 8 ou 10 pouc. au-dessus du plancher *ab*, entre deux boulons d'arrêt, dont l'un l'empêche de descendre et l'autre de monter, afin de ne lui laisser que le mouvement circulaire horizontal. Le support *mo* est incliné de 45° à l'horizon et par rapport au montant : il est retenu dans cette position par le bras de fer *rq*, qui porte un second collet *q*, dont l'objet et la faculté sont les mêmes que dans le collet *o*. En *r*, le bras de fer tient une espece d'ancre pour mieux saisir le support. A l'extrémité *m* de celui-ci, se trouve fixé un chassis en fer *ml*, ayant dans son vuide la largeur nécessaire pour contenir l'épaisseur du levier. Ses deux côtés parallèles représentés au profil (fig. 13.) par *ml*, forment un arc concentrique avec celui que le point *i*,

ou tout autre point du levier, doit décrire dans son mouvement vertical, et il a le nombre de degrés nécessaire à ce mouvement. Ainsi, lorsque l'extrémité *i* se trouve au plus bas, conséquemment l'extrémité opposée au plus haut point qu'on veut lui faire atteindre, le bras *f i* repose sur le point *m* par sa surface inférieure; et lorsqu'il est dans la position contraire, il touche au côté supérieur du chassis *s l*.

D'après cette construction, l'on conçoit que tous les mouvemens du levier sont déterminés, et qu'ils se réduisent au tour d'horizon dans le sens horizontal, (sens dans lequel le support *m o* tourne avec lui), et dans le sens vertical à l'étendue de l'arc *l m*.

Quant à la grandeur de cet arc, elle doit être calculée par la trigonométrie, de façon que le levier étant placé à la distance de la contrescarpe à laquelle il doit agir, et ce levier étant alors dirigé perpendiculairement à la crête du glacis, soit 1°. couché suivant le plan de ce glacis, sans qu'il puisse prendre une position plus inclinée sous l'horizon; ce qui donne d'une part la hauteur à laquelle doit être placée l'extrémité *c* de l'arc *m l*; 2°. de maniere à ce que, dans sa position la plus élevée sur l'horizon, et la lame de son armure étant alors supposée soutenue horizontalement, le point d'arrêt de celle-ci réponde à la distance d'un pied ou deux de la crête du glacis, cette distance prise en dehors. Alors il n'est aucun point de l'espace que le levier peut embrasser sur ce glacis, sur lequel on ne puisse à volonté et comme avec la main, placer les divers moyens de destruction supposés attachés à son extrémité, et c'est-là l'objet essentiel de cette arme. Mais achevons, avant de parler de cet objet, le détail de la construction des tours.

La plate-forme *a b* est entourée d'une estacade

d'appuis afin d'assurer la position de deux hommes intelligens qui doivent l'occuper et diriger la manœuvre de la tour et du levier. Je pense encore qu'il seroit d'un excellent effet de prolonger la plate-forme de part et d'autre, dans le sens du mouvement de la tour (sens indiqué dans la figure par la position des roulettes), afin que sur cette prolongation, qui ne seroit que de trois pieds, l'on pût placer deux petites catapultes destinées à lancer avec vîtesse et roideur, d'une maniere rasante et de très près, beaucoup de pierres sur le plan du glacis. Leur effet seroit certainement moins vague, moins disséminé que ces pluies de pierrailles que l'on voit arriver, et qui ne conservent plus en tombant que la force qui résulte de leur poids. J'ai exprimé cette addition aux tours en *t* et *v* par des lignes ponctuées seulement, parce que, pour les placer sur la même figure, il a fallu les adapter aux deux côtés opposés à ceux qui doivent en effet les recevoir : la construction n'en est pas moins intelligible.

Des leviers qui doivent être placés dans les casemates pratiquées derriere l'escarpe.

15. La construction de ces leviers est en tout la même que celle des précédens, à l'exception du point de suspension, auquel il faut, dans le levier des casemates, adapter un fort anneau à sa partie supérieure, afin de recevoir le crochet d'une poulie, ainsi que l'expriment en *x* les fig. 13 et 14, dont la derniere montre la coupe d'un levier suspendu devant une embrasure *a b c d*. L'on voit dans cette même figure, la disposition faite pour pouvoir le monter et le descendre à l'aide de deux poulies *e*, *f*, qui reçoivent le cable dont une extrémité *g* est solidement attachée à la voûte du souterrain, et dont l'autre *h*, doit répondre à un treuil établi sur le

sol à l'un des côtés de la casemate. Les précautions prises pour consolider et l'équilibre et le mouvement du levier, de maniere à n'avoir aucune altération à craindre de son poids et de sa plus grande action, ne demandent aucune explication que le dessin ne donne, en l'examinant avec une légere attention. Passons donc à la disposition des casemates, et commençons par celle des contre-gardes.

16. La disposision des casemates dépendant nécessairement des mouvemens du levier, il faut les décrire ensemble.

La figure 15 est relative à ma premiere conception, dans laquelle j'avois supprimé le chemin couvert pour le remplacer par une galerie en charpente. L'on se rappellera que, dans cette supposition, j'avois borné la longueur des leviers à 75 pieds: je me proposois même de la réduire à 54, pour ceux qui doivent agir près des contrescarpes. Je construisois alors les tours avec un côté vertical, de maniere à pouvoir les placer comme en *a*, *b*, à deux pieds de la contrescarpe, que je supposois élevée d'à-plomb, et ces dimensions suffisoient pour me rendre maître d'un espace de 40 pieds en avant d'elle, et pour empêcher ainsi l'ennemi d'y établir son couronnement. Il eût alors fallu instantanément retirer les tours de quelques pieds en arriere chaque fois qu'on auroit voulu disposer la galerie de contrescarpe pour une sortie, ce qui eût été un plus grand inconvénient que celui d'ajouter ce nombre de pieds à la longueur des leviers, pour leur conserver une distance fixe et un mouvement non interrompu. Les légers changemens que des leviers plus longs produiroient dans le dessin, seront aisément saisis, sans qu'il soit besoin de les exprimer particulièrement et de multiplier les figures. Je vais donc me servir de mon premier dispositif.

Soit *cd* un levier de 75 pi. de longueur, dont le petit bras *ce* est de 15 pi., et le point de suspension pris en *e*, à 1 pi. du nu intérieur du revêtement d'escarpe, d'ailleurs disposé comme nous l'avons dit No. 15.

Supposons maintenant que mon levier se meut horizontalement, et que son extrémité *d* décrit sur le glacis un arc terminé de part et d'autre par la contrescarpe *fg*. Comme la distance de la crête du glacis (qui est ici le sommet de la contrescarpe) à laquelle l'ennemi a besoin d'établir son couronnement, est au moins de 18 à 20 pi., je cesse de regarder l'effet de mon levier comme suffisant sur les points où il se rapproche davantage de cette crête. Ainsi, en supposant à mon arc une corde *hi*, tracée à 20 pi. de *fg*, c'est entre les extrémités *h*, *i*, de cette corde que je borne l'importance de l'effet défensif du levier. Cependant, comme il faut en même tems qu'il puisse reveniren arriere au moins jusqu'en *k*, à 1 ou 2 pi. de la contrescarpe, pour y recevoir, comme nous le verrons bientôt, son armure, sa charge, ou les différens artifices qu'il doit porter, je considere que cette nécessité jointe à l'avantage de conserver aussi son action dans l'arc plus rapproché *ik*, doit étendre la latitude de son mouvement horizontal de *h* en *k*.

Cette latitude exige pour celle du mouvement correspondant du petit bras *ce*, le développement de l'arc *lm*, décrit par son autre extrémité. Ainsi, en tirant par les points *l*, *m*, deux perpendiculaires à l'escarpe, elles me donneront la largeur du souterrain. Il faut, pour plus d'aisance, ajouter à cette largeur 2 ou 3 pi. sur-tout du côté *m*, où le levier arrivera plus souvent qu'en *l*. La largeur totale de 20 pi. sera suffisante pour remplir tous les objets du mouvement en ce sens : le calcul en est facile.

En supposant, comme nous l'avons dit (No. 2.), la

largeur totale de la contre-garde de 33 pi., et ses revêtemens d'escarpe et de gorge chacun de $4\frac{1}{2}$ ou 5 pi. d'épaisseur, il en résultera que la longueur du souterrain sera de 23 ou 24 pi., et qu'il y aura un espace de 8 ou 9 pi. entre l'extrémité *e* du levier et le mur opposé.

L'ouverture de l'angle *kek*, donné aussi celle de l'embrasure *no*, qu'il faut percer dans l'escarpe. Cette ouverture, prise extérieurement, est de 13 pieds 6 pouces pour un levier de 75 pieds; et de 18 pi. pour celui de 90 pieds.

La porte du souterrain doit être placée vis-à-vis le point de suspension *e*, afin d'avoir la facilité d'y passer le levier pour le soustraire à l'ennemi, quand son action n'est pas nécessaire.

17. Pour armer et charger le levier, je construits dans la contrescarpe, des petits magasins voûtés *pqrs*, dont les fig. 3 et 16 montrent le profil et l'élévation. Le point *q* est déterminé par la longueur *ek* du levier dégagé de son armure, et le point *s* par celle qu'il présente dans sa plus grande longueur, y compris son armure, afin qu'il puisse toujours être abordé par les artificiers soit qu'il se présense en *k* ou en *s*. En donnant de plus 2 ou 3 pi. de facilités, *ps* se trouve fixé à 18 pi.; et j'ai cru suffisant de donner 7 pi. à la profondeur *pq* de ce petit magasin.

Déterminons maintenant les positions en hauteur, en reprenant la fig. 2.

18. Du point *a* pris sur le glacis, à 18 ou 20 pi. de sa crête, je tire la droite *ab*, formant avec la plongée un angle *cab*, de dix degrés, et le point *b* où elle rencontre l'escarpe, me dessine au profil celui où doit se terminer en hauteur l'évasement de l'embrasure. Il est clair alors que pour atteindre cette partie du revêtement, il faudra que l'ennemi, établi dans la tranchée qu'il auroit

pa faire au-delà du point *a*, dirige le tir de son canon de breche suivant *a b*, ce qui suppose qu'il a formé sous l'action de mes leviers, non seulement cette tranchée, mais des embrasures qui percent son parapet et les terres du glacis, ainsi que la maçonnerie de la contrescarpe située au-dessus de la ligne *a d*. Mais si, au contraire, les défenses du levier le gênent au point qu'il soit forcé de creuser sa tranchée plus loin du fossé, en *e*, par exemple, pris à 50 toises, il faudra qu'il perce ses embrasures à la sape dans tout le terrain situé au-dessus de la ligne *e d*, ce que je prétends lui rendre impossible ou tellement long et difficile, qu'il soit forcé d'employer l'usage des mines, préférablement aux batteries de breche.

L'on voit ainsi que la difficulté de découvrir les casemates et les embrasures, croîtroit à mesure que les leviers le tiendroient dans un plus grand éloignement de la crête du glacis, et que, *dans aucun cas*, il ne pourroit les atteindre sans les avoir vaincu; avantage inestimable, analogue à celui des batteries couvertes, plus précieux encore, si je prouve que cet agent est, dans cette position, capable d'un effet que ne peut produire le canon.

Pour élever, d'un autre côté, le levier le plus qu'il est possible, je fixe, comme on le voit fig. 14, son point de suspension (considéré comme placé au centre de l'épaisseur du bois) à 2 pieds au-dessous de l'intrados de la voûte: je suppose cette voûte à trois centres, et surbaissée le plus qu'il sera possible. En prenant alors sur l'escarpe de *b* en *g*, une hauteur de 6 pouces, excédant la moitié de l'épaisseur du levier dans cette partie, je tire la ligne *f g*, qui, suffisamment prolongée de part et d'autre, peut me représenter l'axe du levier dans sa position la plus élevée au-dessus de l'horizon. Il ne s'agit alors que

de mener par le point *b*, une parallele à *fg*, pour avoir l'inclinaison du bandeau de l'embrasure. Pour trouver son appui, il suffira de mener à 1 pied au-dessous du point *f*, une ligne qui aboutisse à 6 ou 7 pieds au dessous du sommet de la contrescarpe, afin que le levier puisse se présenter au magasin qui doit lui fournir ses principaux moyens de défense, ainsi qu'on le voit par la ligne ponctuée *bc* (fig. 3). Il faudroit même faire plonger cette ligne de 3 pieds plus bas, et rabaisser les magasins de la même quantité, afin de laisser au-dessus de leurs voûtes, 3 pieds de terre pour en recouvrir la maçonnerie et les mettre solidement à l'épreuve de la bombe. Dans tous les cas, la position *fi* (fig. 2.), la plus basse du petit bras de levier, déterminera le niveau du sol du souterrain, et sa position la plus élevée et nécessaire pour faire atteindre au magasin l'autre extrémité du levier, déterminera la hauteur des pied-droits; mais il faut concilier avec cette règle, la nécessité de conserver au-dessus de ces pied-droits, au moins 3 pieds pour le surbaissement du cintre, 3 pieds de maçonnerie pour l'épaisseur de la voûte, et autant que faire se pourra, 3 pi. de terre au-dessus, pris à la banquette du parapet.

Quant à la porte, il suffira qu'elle ait 5 pieds de hauteur. Les pied-droits des casemates peuvent être construits sur des fondations cintrées, comme le représente la figure.

La construction d'une de ces casemates bien conçue, il ne s'agit que de déterminer leur position et leur nombre, pour que les leviers embrassent la défense de tout le glacis d'un front.

Pour cet effet, je considere que les points *h*, *i* (fig. 15), étant les extrémités de l'arc de défense *hdi* d'un levier, il faut que d'autres leviers voisins soient disposés de maniere à ce que des arcs semblables décrits par leurs extrémités, viennent se terminer de part et d'autre à ces

les mêmes points. D'après cette loi, je prends la distance *it*, ou *ht*, de l'un de ces points à celui où le levier *cd* dirigé perpendiculairement à la contrescarpe, coupe la ligne *fg* qui en est la projection, et je porte cette ligne de *h* en *u*, et de *i* en *p*; tirant ensuite à *cd*, par les points *u*, *p*, deux paralleles *vx*, *yz*, ces lignes me donnent la situation semblable des deux leviers voisins, dont je fais les bras respectivement égaux à *ec* et *ed*, en prenant les points de suspension à la même distance du nu intérieur du revêtement où se trouve le point *e* : enfin, décrivant avec des rayons correspondans des arcs égaux aux arcs *hdk*, *mel*, j'ai toutes les données nécessaires pour achever les casemates et les magasins à poudre de ces nouveaux leviers.

19. Cette construction établit entre les points de suspension des leviers d'escarpe, une distance de 48 pieds à-peu-près pour les leviers de 75 pieds : elle seroit conséquemment plus grande pour ceux de 90 pieds de longueur. Comme il ne s'agit ici que du principe, je n'en ai pas fait le calcul géométrique.

20. Pour diriger plus facilement et déterminer les mouvemens de ces leviers, il seroit bon d'établir dans chaque casemate deux semelles de bois circulaires (dont on voit les projections en *v* et *i* dans les figures 2 et 15); l'une destinée à guider le levier quand son bras intérieur doit être au plus bas, l'autre à le guider de même quand il doit être au point le plus élevé. Ces pieces de charpente pourroient être graduées de maniere qu'on y liroit le point du glacis auquel répondroit l'extrémité du levier, dans une position donnée. Ce moyen simple dirigeroit le commandement des manœuvres et en assureroit l'exécution. Le levier ne devroit être retenu dans ces limites que par des points d'arrêt susceptibles de mouvement pour le dégager à volonté:

ainsi rien ne s'opposeroit à la liberté de le mouvoir différemment quand il seroit nécessaire de l'enlever ou d'en disposer d'une autre maniere quelconque. L'on éviteroit de cette façon les agitations vagues, que l'on a regardé comme dangereuses pour les hommes qui seroient attachés à la manœuvre de cette arme.

Quant à l'épûre et à la position des deux semelles directrices, c'est à l'art du charpentier à les déterminer, et nous ne nous en occuperons pas ici : nous nous bornerons à dire qu'il faut qu'elles soient disposées de maniere à ce que le levier, dans toutes ses positions au plus bas, laisse entre lui et la crête du glacis, ou la pointe de la palissade dont on voudra le border, une hauteur de 5 ou 6 pouces, afin qu'en frappant contre ces objets il n'éprouve aucun obstacle, aucun dommage. Il faudra dans ce calcul avoir égard à la légere courbure que prendra le levier dans sa longueur, sous l'effort de son poids et de sa charge.

21. En supposant toujours des leviers de 75 pieds, il est clair qu'il en faudra 7 pour une face de contre-garde de 60 toises de longueur, conséquemment 15 pour une contre-garde entiere, en plaçant un de ces instrumens à son saillant. Ce nombre sera réduit à 11, lorsque les leviers seront de 90 pieds. La proportion sera la même pour les contre-gardes des demi-lunes et pour les autres ouvrages extérieurs, en raison de la longueur de leurs faces.

Passons à la disposition et à l'effet de cette arme près de la coutrescarpe.

22. Nous avons vu que les leviers près des contrescarpes, devroient être portés sur des tours en charpente. L'objet de cette méthode est, 1°. de les rapprocher le plus qu'il est possible du glacis, afin d'atteindre plus loin. 2°. De rendre cette arme ambulante et continuellement mobile, afin qu'elle ne puisse pas

aisément être saisie par le canon, et qu'elle puisse embrasser par sa défense un plus grand espace, sans qu'on soit obligé de la multiplier autant que les leviers sédentaires. L'on conçoit que s'ils étoient établis sur des montans fixes, aux points *a*, *b* (fig. 15), pris à 2 pieds de la contrescarpe, l'on gagneroit quelque chose à l'effet de leur longueur; mais alors il faudroit rompre la galerie que nous supposons régner autour de ce revêtement (pour élargir le chemin couvert ou pour en tenir lieu), et l'ennemi pourroit diriger sur le point de suspension des coups de canon qui, tirés de près, quoique sur un seul point, pourroient parvenir à les démonter.

De la construction des tours dont nous avons donné les détails, résulte au contaire que leur centre doit être placé à 9 pi. du pi. de la contrescarpe, pour que la plate-forme et son estacade ne rencontrent pas une galerie de 6 pi. qui existeroit en prolongation du terre-plain du chemin couvert. L'on gagneroit 3 pieds de rapprochement du levier, si, au lieu de l'établir au centre de la tour, on le plaçoit sur le côté intérieur *b* (fig. 13), en disposant le montant *ef* en conséquence; l'on jouiroit en outre de plus d'aisance sur la plate-forme. Peut-être même pourroit-on, sans de grands inconvéniens pour l'équilibre de la tour, construire son côté *bd*, d'à-plomb, en prolongation du montant d'appui *b*, et porter ainsi le levier jusque près de la galerie de contrescarpe. C'est cette derniere construction que je choisirois de préférence, sur-tout si, supprimant tout-à-fait le chemin couvert, on vouloit le remplacer par un échafaudage de 15 pieds de largeur porté sur des chevalets, ce qui me paroîtroit réunir l'avantage de la conservation des chemins couverts à celui de leur suppression. Ce remplacement artificiel, et qui, je le répète, peut s'anéantir en un quart-d'heure, seroit dé-

robé à l'enfilade des ricochets par les bonnettes que je laisserois subsister aux saillans, comme on le voit fig. 4.

23. D'après l'objet et la construction des tours, je n'en place qu'une par chaque 20 toises de contrescarpe, et une à chaque saillant. Ces tours attachées de part et d'autre à des traits *df*, *ef*, de force suffisante, fixés aux extrémités des aissieux, et formant avec eux un triangle équilatéral *def*, seroient tirées de *f* vers *g*, et de *f* vers *y*, par des cables communiquant à des cabestans placés pour cet effet, savoir, l'un en *g* dans une casemate pratiquée sous la contrescarpe, l'autre en *Q* (fig. 1.) dans un pareil souterrain, construit sous l'épaule de la contre-garde de la demi-lune.

J'observe à l'égard de ces souterrains, que le premier serviroit encore de casemate à feu de revers, et que le second seroit utile aux sorties dans les fossés, en leur servant de corps-de-garde, de dépôt d'armes et d'instrumens, pour la défense de leur passage. Mais à raison de la position de cette casemate, il faudroit établir dans le fossé une poulie de renvoi, et la placer sur la ligne du trajet des tours, afin que ce trajet demeurât parallele à la contrescarpe.

24. La figure 4 indique que la meilleure construction pour les saillans de contrescarpe auxquels on voudroit adapter la défense des leviers, est d'en supprimer l'arrondissement qu'ils y formoient jusqu'ici : la tour *A* en est plus rapprochée du glacis, et il ne s'agit que de la placer sur la rencontre de deux paralleles, tirées à 15 pieds de la contrescarpe, pour que son levier *kl*, jouisse de la faculté de se porter en arriere pour se charger aux points *l*, où seront construits des magasins à cet effet.

La tour du saillant ne pourra jouir que d'un très petit mouvement, de 5 à 6 pieds, de droite et de gauche de sa position. Ce mouvement lui sera imprimé par quel-

BOMBAY BRANCH

ques hommes pourvus de leviers ordinaires, et ne laissera pas que d'empêcher l'ennemi de saisir facilement le point d'appui avec son canon. Dans cette position, le levier de 90 pieds décrira sur le glacis l'arc *mno*.

Ce n'est qu'en arriere des points *l*, où le levier de la tour *A* doit être en même d'atteindre à chaque instant, que pourra commencer l'action des tours suivantes *B*, *C*. Elles seront donc disposées de maniere à ne remonter jamais plus haut vers *A*, et à parcourir vers *i* un espace de 20 toises. Cette manœuvre seroit aussi facile à exécuter qu'à concevoir, et les servans des leviers de l'escarpe y feroient l'attention convenable pour combiner leurs mouvemens avec elle. Il en seroit de même des tours placées à 20 toises de celles *B*, *C*. Elles devroient conserver la faculté de s'en rapprocher au besoin, pour réunir plus d'action sur un point où l'ennemi agiroit avec plus de vigueur.

Dans cette position, les leviers des tours *B*, *C*, décriroient, ainsi que les suivans, les arcs *op*, *mq*, et doubleroient ainsi l'action de défense des leviers d'escarpe, en l'étendant encore plus avant sur le glacis.

L'on voit le jeu de ces armes exprimé sur le glacis (fig. 15), dans l'hypothese de leur plus petite longueur. Cette action, qui embrasse le double de la distance à laquelle l'ennemi est forcé de s'approcher pour l'établissement de son couronnement et de ses batteries de breche, s'étendroit de 15 pieds plus loin, si les leviers avoient 90 pieds de longueur, ou, pour parler avec exactitude, à 50 pieds à-peu-près, soustraction faite d'un éloignement de 6 pieds des tours à la contrescarpe.

Les mouvemens et diverses positions des leviers, sont également exprimés en hauteur, aux profils (fig. 2 et 3) dont l'un présente l'hypothese d'un chemin couvert, et l'autre celle qui n'en suppose pas. Les seules lignes de

construction rendront ces figures intelligibles, sans qu'il soit besoin de l'indication des lettres dont j'ai évité de les surcharger. La position *ad* du levier (fig. 3) est trop baissée de quelques pouces, si l'on place une palissade sur la banquette du chemin couvert; mais ce levier a toute sa longueur de 90 pieds : ainsi *ed* seroit un peu plus petit que 24 pieds, et *eg*, qu'embrasseroit un semblable levier suspendu sur une tour en *f*, auroit 53 pieds.

25. La même figure indique que, sur cet espace *eg*, je plante dix rangées d'arbres, afin que leurs troncs et leurs racines rendent par leur enlacement, extrêmement lent et difficile le travail de toute tranchée à faire sous l'action des leviers. Cette mesure excellente, réclamée depuis long-tems par les officiers du génie, vient enfin d'être adoptée par le comité des fortifications dans ses séances de cette année. Je l'étends à une plus grande distance de la crête du glacis que ce comité ne le propose, parce qu'elle peut s'établir ainsi successivement, et qu'elle promet le dédommagement à usure, même sous le rapport de l'intérêt, des premiers frais qu'elle peut occasionner.

26. Il me reste une observation à faire sur la position qu'il faut que prennent les leviers, pour atteindre les magasins où ils doivent recevoir les bombes, artifices, etc. Elle consiste dans la nécessité d'interrompre, dans la partie occupée par ces magasins, la galerie de contrescarpe, et de n'en placer les madriers qu'au moment des dispositions nécessaires pour une sortie projetée en ordre de bataille. Si cette petite manœuvre paroissoit avoir un grand inconvénient, il faudroit donner un peu plus d'évasement aux embrasures d'escarpe, pour que les leviers puissent descendre au-dessous de la galerie, et aller prendre leur charge en dessous : les leviers des tours peuvent

toujours recourir à ce mouvement. En derniere analyse ne pourroit-on pas charger ces armes dans le terre-plain du chemin couvert, sous de forts blindages disposés derriere les traverses, dont la sommité seroit couverte par la crête du glacis, et le sol creusé de quelques pieds dans le terre-plain ?

27. Après avoir saisi la position, les manœuvres et l'effet des leviers des tours, l'on peut également se représenter, d'après la figure 4, le jet des catapultes placées sur les deux côtés de ces mêmes tours. Ces machines couvriroient, dans leur course, tout le glacis des pierres dont on pourroit charger la plate-forme, tandis que la disparution et le retour successif du levier, élevé et baissé tour-à-tour au moyen de son cric, l'aisseroit toujours l'ennemi dans l'incertitude du point sur lequel on réuniroit tout-à-coup contre lui l'action de ces deux machines destructives.

28. L'arrangement des leviers d'escarpe sous les saillans demande encore quelques détails particuliers.

L'on voit en *D*, que le plus grand arc que puisse embrasser le levier, dépend de l'ouverture de l'angle *bEb*. Ce levier ne pourroit être qu'une arme tranchante, à moins qu'on ne le chargeât dans le chemin couvert en *F*, quand il auroit conservé son armure, et vers *G* quand il l'auroit perdue; tout retour en arriere vers la contrescarpe lui est interdit par la forme de son souterrain : c'est la destinée éternelle des saillans d'être, dans toutes les combinaisons défensives, les points les plus foibles.

A raison de cette circonstance, j'essaierois de promener sur le terre-plain du chemin couvert, deux leviers de 36 pieds de longueur portés sur des montans mobiles sur roulettes, et seulement poussés à bras d'homme, chaque fois que l'ennemi seroit dans la pro-

ximité, et ne pourroit conséquemment point employer son canon contre le chemin-couvert. Ces leviers, petits et lègers, qui seroient chargés par le moyen de deux magasins ménagés sous la bonnette, seroient retirés, jetés sur le terre-plain, et leur échafaudage seroit mis à l'abri dans ces deux souterrains, lorsque l'ennemi feroit agir ses ricochets. Ils éprouveroient ainsi peu de dommage, en feroient beaucoup, et ne seroient pas difficiles à remplacer et à remettre en batterie.

Je laisse à mes lecteurs à déterminer le cas que l'on peut faire de cette idée accessoire, dont l'objet est de rendre plus difficile l'accès du saillant du chemin couvert. Je reviens aux souterrains de l'escarpe.

En accordant 6 pieds de facilité au jeu du levier placé en *D*, en arriere de son bras intérieur, son souterrain aura 22 pieds de côté suivant le revêtement. C'est à cette distance que j'établis les deux murs qui doivent aider à supporter sa voûte, qui sera une voûte d'arête surbaissée comme les précédentes. Mais afin de profiter de la même facilité pour l'action des leviers adjacens *H*, *i*, et de ne les point trop éloigner, il est nécessaire que ces deux pieds-droits soient eux-mêmes construits et voûtés en arceaux, ensorte que les trois souterrains soient contigus. Le reste de la construction des casemates des leviers *H*, *i*, s'explique de lui-même par l'inspection du tracé, par lequel on voit que ces deux leviers peuvent être chargés à la contrescarpe, vers les points *i*.

Des Leviers établis sous l'escarpe du corps de la place ou des demi-lunes; et des Tours à la gorge des contre gardes.

29. Les détails que j'ai donnés précédemment, me dispensent ici de tous ceux qui ne seroient que des répétitions, et que l'on peut lire sur le dessin dans les

parties *A*, *B*, des figures 1 et 15 (1). La grandeur des souterrains, leur espacement, la disposition des petits magasins, tout est ici semblable à ce que nous avons déterminé pour l'escarpe des contre-gardes. L'on y voit seulement de plus des communications *D*, de l'intérieur de la place à chacun des souterrains. Elles peuvent se pratiquer sous toutes les parties du corps de place où il n'y aura que l'épaisseur du rempart à percer, mais elles ne pourroient avoir lieu de même sur les faces des bastions pleins, excepté sur leur capitale. Ces communications ont moins pour objet de faciliter les mouvemens des hommes que de servir de magasin et de retraite aux leviers dégagés de leur armure. C'est pourquoi je leur donne 76 pieds de longueur, y compris celle des souterrains, sauf à les prolonger intérieurement au-delà du terre-plain du rempart, si ce terre-plain joint au parapet offroit une plus petite longueur. C'est par ces communications que tous les autres leviers seroient portés au-dehors, pour être introduits dans leurs souterrains par leurs embrasures ; leur longueur, comparée à la largeur des fossés, ne permettant pas de suivre d'autre méthode. Le petit talus *ik* (fig. 2) est destiné à faciliter la rentrée du levier, malgré la position oblique qu'il conservera, tant qu'il portera sur le parapet ou sur la gorge de la contre-garde. La hauteur de la communication est déterminée par une position horizontale du levier sur le point *l* de son embrasure, afin que son extrémité puisse atteindre le point *k*.

Le plan et le profil démontrent que des leviers de 90 pieds embrasseroient la défense des contre-gardes sur toute leur épaisseur, et que c'est sous leur action

---

(1) Nous n'avons pu rapprocher ces deux figures sur la même planche, à cause de leur grandeur et des figures intermédiaires dont nous avons eu besoin.

qu'il faudroit que l'ennemi montât et établît son artillerie de breche, dans l'espace le plus étroit et le mieux flanqué que la défense puisse lui offrir.

30. Quant aux tours, elles peuvent ici se placer au plus près de la gorge des contre-gardes, et il suffiroit de leur faire porter des leviers de 75 pieds pour atteindre jusque près de la contrescarpe, vers son pied *m*, et embrasser ainsi non seulement tout le talus de la breche que l'on supposeroit exister depuis le sommet de la gorge jusqu'à ce point, mais encore toute la sape du passage du fossé, pour l'accabler de bombes, sur-tout d'artifices propres à incendier ses gabions et ses fascines, et remplacer avec profusion les défenses presque éteintes des flancs; avantage incalculable qui dédommageroit bien l'assiégé du raccourcissement de l'épaulement de l'assiégeant dans son trajet à travers un fossé plus étroit.

31. Mais si l'on vouloit en même tems élever le point d'appui jusqu'en *n*, afin de pouvoir coucher le levier suivant la plongée, il en résulteroit, en certains cas, sans utilité, une tour énorme, et c'est ce qu'il faut éviter. Il faut donc tenir ce point de plusieurs pieds au-dessous de *n*, en le déterminant seulement de maniere à ce que le levier qu'il doit porter, ne soit pas plus incliné que dans la position *o P*, où l'effet de celui de l'escarpe est encore complet. Dans cette position, il deviendra impossible à l'ennemi de le saisir. C'est pourquoi j'observe ici, quoique hors de place, qu'en diminuant de 2 ou 3 pieds l'élévation du point d'appui des leviers des tours de contrescarpe, ce point se trouveroit dérobé au bouton de mire des assiégeans, sans que l'obliquité peu considérable qui en résulteroit, et qui seroit rachetée par le mouvement d'inclinaison plus grande donné à la lame de l'armure, pût produire une diminution sensible dans la défense.

J'observe ici que les détails que nous avons donnés, peuvent facilement être appliqués à la disposition des leviers et des tours pour la défense des demi-lunes et de leurs réduits, des tenailles des courtines, en un mot de toutes les parties de fortification dont le tracé et le relief répondent aux figures 1, 2, 3 et 4; et enfin, que les fossés doivent être pavés sur 12 ou 15 pieds de largeur dans le sens du chemin que les tours ont à parcourir.

De l'emplacement et de l'action du Levier dans la défense des breches du corps de place.

32. Dans la défense des breches des bastions il faut distinguer trois cas différens: 1°. celui d'un bastion vuide; 2°. celui d'un bastion plein; 3°. celui d'un bastion plein surmonté d'un cavalier.

1. Dans les bastions vuides, il reste ordinairement peu de terrain au terre-plain du rempart lorsque la breche est praticable; alors il faudroit se contenter de former intérieurement une sorte de *retirade*, à l'imitation des anciens, en disposant en angle obtus, le plus approchant de 90 dégrés que le local pourra le permettre, des mantelets *B*, de 6 pieds et demi de hauteur et de largeur, recouverts de deux rangs de madriers d'une épaisseur suffisante pour résister à la mousqueterie; portés sur des aissieux et des roulettes; enfin, ayant un timon: le tout semblable aux anciens mantelets de sape.

Ce parapet mobile seroit aisé à manœuvrer, et pourroit se construire rapidemment, au moment même où l'ennemi se dispose à monter à la breche. Il s'appuieroit aux deux côtés du parapet du bastion, formant les extrémités de la largeur de la breche, et chaque mantelet porteroit sur un de ses côtés un fort crochet de fer,

pour l'accrocher solidement au mantelet voisin, afin que toutes ces machines formassent un ensemble solide, une sorte de mur qui ne pût être détruit que par le canon. Au sommet du revêtement et au milieu de la longueur de chacun de ces parapets, seroit un boulon *r*, destiné à recevoir un levier défensif de 36 pieds de longueur. Le jeu de ces leviers dans l'angle rentrant ainsi formé, se conçoit aisément et se présente à l'esprit comme infiniment plus meurtrier que celui de toutes les armes que l'on peut employer à la défense des breches. Mais il seroit encore renforcé par deux rangs de feux croisés d'infanterie, par le moyen de deux rangées de crenaux, pratiquées pour cet effet dans le revêtement, et à travers lesquels les défenseurs de la breche tireroient à couvert de toute atteinte de la part de l'ennemi. Indépendamment de ces deux défenses réunies, des leviers de 90 pieds de longueur seroient placés en arriere des mantelets sur les côtés, et, s'il étoit possible, sur le prolongement de la ligne qui coupe l'angle rentrant en deux parties égales, afin de portér fort en avant des mantelets et sur la colonne saillante, des bombes, des barils foudroyans, des chemises soufrées, en un mot, tous les mobiles de destruction que l'on a imaginé pour la défense des breches. Les grands leviers seroient établis sur des montans arcboutés et placés sur une petite plate-forme à roulettes; ils n'auroient que 7 pieds et demi au plus d'élévation, et seroient ainsi couverts de la vue de la breche chaque fois qu'ils n'agiroient pas. L'on conçoit également que des leviers semblablement disposés derriere les parties restantes de parapet, et couverts de quelques traverses contres les ricochets, porteroient sans cesse la flamme et la destruction sur la sape, ainsi que sur l'épaulement du fossé, jusqu'au point *t* de la contrescarpe, ensorte qu'il

seroit difficile d'imaginer comment ce cheminement pourroit s'exécuter sous un tel concours de moyens.

Enfin, c'est derriere l'égide des mantelets et ce concours de moyens destructifs, que se tiendroient les colonnes destinées à soutenir l'assaut : il est évident qu'elles n'auroient pas beaucoup d'efforts à faire, et que tous leurs soins consisteroient à soutenir l'effet des leviers et à défendre leur position. Cette défense produiroit sans doute en outre un excellent effet moral, en évitant aux défenseurs un choc offensif direct, et en plaçant en leurs mains des armes qu'aucuns efforts de l'ennemi ne pourroient leur arracher.

Nous ajouterons à ce qui précède, que les petits leviers et les mantelets devroient être hérisés de pointes de fer, afin d'ôter aux assaillans les moyens de les saisir. En réunissant à ces difficultés celles qui naîtroient d'ailleurs des feux de la place et qu'on fait revivre à cette époque décisive; en y ajoutant l'action des fougasses dont la galerie majeure, que je suppose régner le long du revêtement, facilite l'établissement sous la breche, il paroît démontré que l'ennemi seroit forcé de retourner sur ses pas pour faire place à son feu d'artillerie, afin de détruire ce retranchement et les leviers dont il est hérisé. Alors ce seroit pour l'assiégé l'instant de faire disparoître tout ce dispositif, pour tromper l'espoir de l'assiégeant et reparoître dès qu'il feroit taire son feu, pour remonter lui-même sur la breche.

2. Le cas d'un bastion plein ne différe de celui d'un bastion vuide, que par la plus grande facilité qu'il présente à l'action des défenseurs. Ici l'on peut toujours former la *retirade* à angle droit, en prenant la moitié de la largeur de la breche, puis portant cette distance perpendiculairement en arriere vis-à-vis son milieu pour avoir le sommet de l'angle. Dans le cas d'une

breche de 16 toises, ce point seroit donc à 8 toises de la crête intérieure du parapet, chacun des deux côtés de l'angle seroit à-peu-près de 11 toises 2 pieds, et demanderoit 10 mantelets pour le border. Les 20 mantelets fourniroient les défenses de 20 leviers, et le feu bien nourri de deux cents hommes d'infanterie, en supposant qu'un troisieme rang tireroit par-dessus leur parapet.

A 10 toises en arriere d'une premiere *retirade*, l'on peut aisément en concevoir une seconde dans un bastion plein. Celle-ci serviroit de dernier retranchement, dans le cas où, à force d'opiniâtreté et de sacrifices, l'ennemi seroit parvenu à forcer la premiere. Alors il faudroit laisser des vuides dans le rang des mantelets de la premiere, autant pour servir de communication à l'autre, que pour pouvoir en recueillir les débris, en les faisant entrer en rang dans ces vuides au moment de la retraite.

3. La circonstance où le bastion est surmonté d'un cavalier paroît la plus favorable à l'usage des leviers. Il ne s'agit alors que de fermer de part et d'autre les trouées *D*, qui existent sur le rempart entre le parapet et la masse du cavalier. Mais il faudroit disposer les mantelets obliquement, afin que les défenses ne se battent pas réciproquement; disposition que nous avons exprimée sur le plan (fig. 1.), en supposant une breche en *C*. La masse restante du cavalier servira alors de courtine à ces flancs, et cette courtine sera défendue par trois leviers de 90 pieds, disposés à-peu-près comme celui *q r* (fig. 2.). et qui porteront leur défenses jusque sur le milieu de la partie *s t* de la breche. Dans cet état des choses, l'ennemi ne pourra atteindre au sommet de la breche qu'après avoir forcé les deux flancs *D*. Or, il éprouvera pour cette action une difficulté extrême dans un terrain aussi resserré, aussi désavantageux sous tous les rap-

ports, et sur lequel il sera obligé d'attaquer de côté et d'abandonner l'avantage de la profondeur de sa colonne. D'ailleurs, c'est dans cette position qu'un second flanc semblable pris en arriere lui seroit victorieusement opposé, s'il avoit démonté les mantelets du premier flanc et les avoit renversés sur son chemin.

Rien en outre n'empêche de se ménager, *dans tous les cas*, dans les mantelets, des embrasures pour trois ou quatre pieces de 4 qui tireroient à mitraille, sans qu'on pût les aborder ; et ce seroit sans doute là une des meilleures manieres de faire valoir la conception de ces épaulemens ambulans. Enfin, l'on voit que les grands leviers du cavalier ne seroient découverts de nulle part, qu'on pourroit ne les mettre en batterie qu'à l'approche de l'action, et que si le canon de breche avoit laissé subsister la masse du parapet du cavalier dans quelque partie où les leviers devroient atteindre la breche du bastion, il faudroit leur dégorger des embrasures *u v x y*, qu'on auroit préparées à tems, et dont il ne resteroit que la partie la plus extérieure à couper à l'époque de l'assaut.

A l'action des leviers l'on pourroit ajouter une autre défense très meurtriere, ce seroit celle de plusieurs petits chars armés de faux, et précipités avec rapidité du haut en bas de la breche, pour tomber de front sur la tête de la colonne assaillante. Les parois de ces chars pourroient être construits en matelats de 6 pouc. d'épaisseur, bien rembourrés de longue laine. Jai éprouvé que ces matelats sont impénétrables au feu de la mousqueterie quand ils sont fixés contre un simple revêtement en planches de 15 lig. d'épaisseur. Il suffiroit que l'intérieur des chars eût une toise en quarré de vuide, pour y placer 6 ou 8 hommes qui imprimeroient le mouvement à cette arme, feroient mouvoir quelques tran-

chans, et tireroient avec des espingoles à travers de petites meurtrieres.

A l'arriere des chars tiendroit une chaîne qui, aboutissant à un cabestan placé hors des atteintes de l'ennemi, les rameneroient dès qu'ils auroient produit le premier désordre, tandis que de nouveaux chars semblables reviendroient sur l'assaillant, pour former ainsi un jeu alternatif et terrible de chars montans et descendans.

Pour appliquer cette défense aux bastions pleins, il ne s'agiroit que de construire la retirade de maniere à ce que (au lieu d'un angle) le rentrant formât une espece de courtine entre deux flancs, et de placer dans le rang des mantelets, plusieurs chars qui en tiendroient la place et qui déboucheroient à propos pour commencer leur mouvement. Les vuides qu'ils laisseroient entre les mantelets seroient aussitôt fermés par d'autres mantelets placés en arriere et qui leur rendroient leurs places à chaque retour. De cette maniere il n'y auroit jamais de lacune dans la retirade, et il seroit pourvu au cas où quelqu'un des chars seroit brisé, arrêté ou pris par l'ennemi (1).

---

(1) J'avois conçu depuis plusieurs années, l'idée d'appliquer de semblables chars à l'usage de nos armées, pensant que ce seroit un excellent moyen de suppléer en ligne le défaut de cavalerie, et de produire, dans certaines positions, le plus grand désordre dans celle de l'ennemi. Je voulois les faire marcher dans les combats par l'impulsion seule des hommes : je proposois d'en combiner l'action avec celle de l'infanterie et de l'artillerie légeres ; je disposois ces machines dans l'ordre de bataille sur les ailes, à couvert, dans les terrains propres aux mouvemens des troupes à cheval, afin de déborder les flancs de l'ennemi, de les attaquer tout-à coup par des mouvemens rapides et irréguliers qu'il ne pût saisir, ou bien pour opérer une manœuvre semblable en défensive, lorsque l'ennemi se porteroit lui-même sur nos flancs.

J'appliquois aussi cette arme à la défense de la gorge des ouvrages de fortification, à celle des fossés secs, à celle des défilés, à celle des

De l'application des leviers à la défense des fossés inondés.

Nous n'avons parlé jusqu'ici que de l'application de nos moyens à la défense des places à fossés secs. Lorsque les fossés sont pleins d'eau, l'assiégé jouit de cet avantage, que l'ennemi ne peut point faire usage des

---

rues; j'en protégeois les batteries, ou bien je m'en servois pour les tourner et les attaquer, etc.

Alors employé à l'armée du nord, je fis proposer au ministre d'Abancourt d'essayer ce moyen, et de suppléer en ligne avec mille chars (qui n'eussent pas coûté deux millions, et dont la construction ne demandoit que six semaines de travail) à l'action d'une masse de quarante à cinquante mille hommes de cavalerie. J'avois évité tous les défauts qui avoient fait réformer aux anciens ces fameux chars, dont les miens n'etoient qu'un diminutif et une modification appliquée à la guerre moderne : je les avois rendus inabordables à l'infanterie et à la cavalerie, fussent-elles même armées de lances comme les Hulans, et l'artillerie ne pouvoit les atteindre qu'à la course ; elle n'avoit conséquemment pour elle que les coups dirigés par le hazard. Une fois l'ennemi abordé, le désordre et sa fuite eussent été la conséquence nécessaire de cette sorte d'attaque.

Le ministre ne fit aucune attention à une idée qui pouvoit lui déplaire sous des rapports que je n'entrevoyois pas alors. J'en renouvelai depuis la proposition, par la voie de Laurent Lecointre, mon calomniateur; enfin au comité militaire. Mais je me trouvois alors dans les fers, en discrédit, suspendu, persécuté, malgré des services constamment marqués au coin du zele ; et la prévention injuste contre l'inventeur, porta sans doute sur l'invention. Je n'eus pas seulement la satisfaction d'apprendre que mon projet avoit été discuté et trouvé mauvais ; il ne me produisit qu'une lettre insignifiante de mon dénonciateur. Je suis donc aujourd'hui autorisé à le publier, pour mettre tous les hommes de guerre à même de le juger : il est du nombre de ceux dont il est facile de faire l'essai. Je ne l'eusse pas proposé, si je ne l'avois pas cru facilement applicable à nombre de circonstances et assez bon pour désirer encore aujourd'hui que nos ennemis ne s'en avisent pas les premiers : au surplus, l'exposé que j'en fais manque ici des moyens de détail et d'application, desquels dépendroit son succès dans la guerre de campagne.

mines, et qu'il n'a pas besoin de lui opposer celui des contre-mines. La défense des leviers deviendroit donc alors d'autant plus victorieuse que, pouvant de son côté empêcher la formation des breches par l'effet du canon, il ne resteroit plus à l'assiégeant de moyen de rompre l'enceinte de la place.

Cependant je ne conclurai point de cette remarque que mon systême de défense seroit invincible : je le répete, l'expérience seule peut prononcer dans ces sortes de questions, et déterminer exactement jusqu'où doit s'élever la confiance dans les effets qu'elles ont pour objet; néanmoins il est vrai de dire que, lorsque la théorie promet des résultats aussi favorables, les épreuves bien faites ne la démentent jamais jusqu'à un certain point.

Quoi qu'il en soit, lorsque les fossés d'une place pourront être inondés, il sera nécessaire que l'inondation ne soit élevée que jusqu'à un pied du sol des souterrains, dont la position est, comme nous l'avons dit, nécessairement donnée. Ce ne sera plus qu'à ce niveau que l'ennemi pourra descendre pour creuser les mines, et ce ne sera conséquemment plus qu'au-dessus de cette même élévation, que l'on pourra construire les rameaux de contre-mine.

Dans les fossés inondés, les tours pourroient être manœuvrées comme dans les fossés secs, en roulant sur leur pavé; mais leur mouvement seroit peut-être encore plus facile, si on les établissoit sur des radeaux quarrés de 12 pieds de côté, auxquels tiendroient les traits de manœuvre. L'on gagneroit ainsi une diminution de leur hauteur, égale à la profondeur de l'eau, en même tems qu'on pourroit se dispenser de les faire porter sur des aissieux et des roulettes. L'on conçoit que, dans ce cas, il faudroit que l'assiégé fût tellement

maître de ses eaux; que l'ennemi ne pût jamais mettre les fossés à sec, puisque cette seule opération détruiroit l'effet des tours ainsi disposées.

Si la place possede des écluses de chasse, rien n'empêchera d'en faire usage contre les travaux de l'assiégeant dans les fossés; car il est évident que l'ennemi étant une fois parvenu, par tel procédé qu'on voudra supposer, à tous les succès qui lui permettent d'entreprendre ce travail, les tours et les leviers d'escarpe dans ces mêmes fossés, auront disparu, et ne seront plus d'aucun usage pour leur défense; il sera conséquemment devenu indifférent que, par le baissement de l'eau, les radeaux se trouvent échoués. Mais alors il faudra que la manœuvre des écluses soit disposée de maniere à ce que les eaux ne baissent pas en même tems dans les autres fossés où des radeaux semblables auroient encore des tours actives à supporter, ou bien il faudroit que ces tours fussent maintenues dans l'indépendance du mouvement des eaux, en les faisant rouler sur leurs pavés.

De l'application des leviers défensifs aux pompes de la Jommariere.

35. C'est ici la place où je me suis engagé à défendre et à perfectionner l'usage des pompes pour la défense des glacis et des chemins couverts, imaginé par la Jommariere. Cette pensée ayant été vouée au ridicule au moment même où elle fut publiée, et ce ridicule n'étant point effacé dans l'opinion de la plupart des gens de guerre, il m'est permis, sans prétendre la ravir à son auteur, d'avancer que je l'avois conçue comme lui longtems avant qu'il en parlât. C'est une de ces rencontres de l'imagination qui ne sont pas rares lorsqu'on l'exerce sur les mêmes objets, et il pouvoit paroître naturel à plusieurs hommes à la fois d'opposer la défense de l'eau

aux attaques du feu, puisque le premier de ces élémens détruit les effets de l'autre.

Que l'on se transporte dans une tranchée déja faite, dans un tems d'orage et de pluie abondante, que l'on imagine des torrens en délayer les parapets, les faire couler en boue dans l'excavation d'où elles ont été tirées; des gerbes d'eau poussées avec violence, couvrir, pénétrer, aveugler, étouffer, renverser les hommes, introduire l'eau jusque dans la lumiere et dans la bouche des canons, délayer les poudres et les artifices; si, au milieu de ces effets, l'on ne voit pas de sang répandu, l'on concevra certainement du côté de l'assiégeant une situation tellement pénible, des obstacles physiques à l'établissement des tranchées et des batteries de breche tellement puissans, qu'en supposant qu'enfin il parviendra à les vaincre, il est au moins évident qu'il en sera *considérablement* retardé. Je ne crains pas de faire ici aux mauvais plaisans un défi qu'ils ne peuvent refuser s'ils veulent soutenir et justifier leur critique, c'est de se présenter eux-mêmes à trois toises de la crête d'un glacis avec les parapluies qu'ils veulent opposer à cette défense. Mais, afin qu'ils ne se trouvent pas plus exposés qu'ils ne l'imaginent ou qu'ils ne le voudroient, je les préviens que l'action des pompes est indépendante des autres défenses de la place, qui conservent toute leur énergie, et ce sera toujours-là un grand mérite, même un avantage sans replique, dans toute invention de ce genre, par ce qu'il est alors évident que, ne pouvant pas hâter la reddition d'une place, elle ne peut que l'éloigner en raison de la puissance des moyens qu'elle renferme.

Il résulte de cette réflexion que la défense des pompes, qui par elle-même ne tue personne, deviendroit néanmoins plus sanglante encore que si chacune de ces ma-

chines étoit une piece de 24 qui eût conservé toute l'ativité de son feu, duquel il est en effet des moyens de se garantir plus ou moins bien, même dans la proximité. Car si les pompes tenoient long-tems exposés les travailleurs, les troupes et l'artillerie, avant que l'assiégeant pût rendre une breche praticable, ils seroient d'autant plus soumis aux défenses meurtrieres de la place, ils auroient conséquemment de plus grands dommages à souffrir. Tout obstacle, toute résistance même de simple inertie, qui empêche l'ennemi de presser ses succès, offre la même propriété, et ce sont-là véritablement les moyens les plus sanglans, les plus décisifs.

Les expériences faites à Strasbourg ont démontré que l'effet des pompes pouvoit s'étendre jusqu'à la distance de 30 toises. La Jommariere supposoit qu'elles étoient placées dans des souterrains à l'escarpe, dans les fossés et sur les chemins couverts. La derniere situation leur donneroit plus d'effet, mais l'on ne pourroit l'ong-tems y tenir ; la seconde, plus sûre, étend moins loin l'action de la gerbe, et cette gerbe étant obligée de s'élever et de former une parabole, soumet la colonne d'eau à une grande division produite par la résistance de l'air ; l'effet en est tellement atténué à une certaine distance, qu'il seroit presque vrai de dire que des parapluies pourroient en garantir ; la troisieme enfin, la mieux couverte, mais la plus reculée, participe de ce défaut en raison de la largeur des fossés jointe à celle des chemins couverts.

Les leviers défensifs semblent propres à faire disparoître tous ces inconvéniens.

En effet, supposez le tuyau d'une pompe fixé le long du grand bras de cette arme, de maniere que l'ajutage réponde à son extrémité, il est évident que cet ajutage

portera la colonne d'eau sur tel point que je le voudrai, sur tel homme, sur telle piece de canon, sans qu'il dérange en rien les autres mouvemens défensifs du levier. Je pourrai même replier cet ajutage comme la lame de l'armure, pour pousser directement de haut en bas la gerbe qui devra atteindre le derriere d'un parapet, avec toute sa violence.

Pour produire ces effets, l'on sent que, dans une place dont les fossés seroient inondés, il ne s'agiroit, pour les pompes d'escarpe, que de pratiquer des puisards dans les souterrains des leviers, et d'établir les pompes sur les radeaux qui portent les leviers de contrescarpe. A l'égard des premiers, l'on pourroit se procurer la facilité de mouvoir les pistons à l'aide d'une méchanique simple à laquelle on attacheroit des chevaux, mais il faudroit alors l'établir dans les espaces voûtés *C* (fig. 15.), laissés entre les souterrains des leviers, en y faisant communiquer les corps des pompes au point de suspension *e*, par un circuit circulaire qui auroit pour tangente la ligne *cd*, afin d'éviter les grands étranglemens de la colonne d'eau, dans le mouvement qui décriroit l'arc défensif *h*, *d*, *i*.

J'observe que, dans le cas où une place n'est point à portée d'inonder ses fossés, il en est quelquefois qui jouissent d'un ruisseau ou d'un filet d'eau, qui pourroit d'avance former sur un front d'attaque un amas d'un assez gros volume pour suffire au débit des pompes.

En tout état de cause, il est un fait certain, c'est que dans l'épreuve qu'on a faite à Strasbourg, les sapeurs, bien payés pour résister à l'action de gerbes d'eau qu'on dirigeoit sur eux, et *fortement stimulés* à cette résistance par des hommes qui *rejetoient* cette nouveauté et s'efforçoient de la discréditer, ont été forcés de fuir et d'avouer que, loin de pouvoir suivre la sape ou d'en-

treprendre aucun travail, ils seroient morts sous l'action des pompes, s'ils n'avoient pris ce parti. Il faut donc espérer que les détracteurs se pourvoiront de meilleures égides que de parapluies, comme ceux des leviers seront forcés d'imaginer d'autres moyens pour les détruire ou les enchaîner, que celui de les tirer au vol avec des pieces de 24, ou de les guetter pour les prendre au lacet comme ces chevaux fougueux de l'Arabie, qui, bien qu'ils soient adroits et vigoureux, vont néanmoins terre-à-terre, et ne vomissent pas par les naseaux, des boulets, des bombes et des artifices.

Défense d'un Front par les moyens proposés.

36. Le développement des procédés de la défense d'un front de fortification par les moyens que je propose, ne demande ici en quelque sorte que le résumé de tous les détails que j'ai déja donnés en expliquant l'objet et les effets de mes constructions.

Jusqu'au moment où l'assiégeant a établi ses cavaliers de tranchée pour dominer sur le chemin couvert, ou sur l'échafaudage que j'ai pensé que l'on pourroit lui substituer, les défenses et les attaques sont de part et d'autre en tout semblables à ce qui se pratique suivant les principes adoptés jusqu'ici. Mais si j'ai des leviers de 90 pieds suspendus au haut de mes tours, et si ces leviers sont placés derriere une galerie de contrescarpe de 15 pi. de largeur, ou près d'une contrescarpe sans galerie, mais ayant un chemin couvert de cette même largeur, il est évident que c'est à 10 toises en avant de la crête du glacis, que commence la guerre des leviers contre le cheminement de l'ennemi; ainsi il ne pourra déboucher de ses cavaliers que par une sape de 4 ou 5 toises de longueur, sans en être atteint. Supposons alors qu'il soit en *e* (fig. 2).

A cette époque tous les ricochets ont cessé leur action sur le chemin couvert, les cavaliers de tranchée eux-mêmes les en ont garanti. Que pourra-t-il faire pour en chasser l'assiégé ? Pour établir sa tranchée de couronnement.

Il a le choix entre l'action de vive force et la marche lente des sapes ; quelques-uns pourroient encore penser qu'en établissant sa tranchée de couronnement, telle qu'on la voit en *e* ou *ff*, hors de la portée des leviers, il pourroit parvenir à y former des embrasures suffisamment profondes pour découvrir le point de suspension des leviers et les détruire.

Examinons ces trois procédés différens.

1°. Au moment où les progrès de l'ennemi m'annoncent celui où il pourra entreprendre une attaque de vive force, les leviers n'ont point paru à ses regards ; mais ils ont été préparés dès le commencement du siege : les magasins sont suffisamment pourvus de bombes, de barils foudroyans, de tourteaux, de fascines et de chemises goudronnées ; les servans sont à leurs postes ; les pompes, s'il y en a, sont prêtes à se mouvoir ; chaque levier porte même déja une bombe qui n'attend plus que le signal pour recevoir le feu : il porte également vers son extrémité un pot-à-feu prêt à éclairer tous les pas de l'ennemi, s'il entreprend son attaque de nuit.

Le dommage que ces dispositions auront pu éprouver à cette époque, consistera, dit-on, dans l'effet des bombes, des ricochets, même des boulets enchaînés que l'attaquant jettera en grand nombre dans les fossés.

Sans doute l'ennemi n'aura pas eu d'autre moyen de les attaquer, mais il aura fait plus de bruit que de mal. D'une part, les bonnettes de tous les saillans défilent les fossés et les branches des chemins couverts placées

dans leur prolongement ; ces objets échappent sur-tout à l'œil de l'assiégeant, si ces bonnettes ont un pied ou deux d'élévation de plus que les ouvrages dont elles enveloppent l'angle flanqué ; alors tout est hazard dans les coups qu'il porte. En calculant toutes les surfaces qui se présentent à ces coups dirigés sur des objets qu'il ne voit pas, en mesurant la courbure de la parabole qu'il faudra qu'il fasse décrire à ses ricochets, l'on verra d'une part que chaque levier d'escarpe ne lui offre pas dans le sens des prolongemens, une surface de 10 pieds quarrés ; que ceux de contrescarpe, plus rapprochés encore de cette direction, ne lui présentent pas le tiers de cette surface ; que les tours construites légèrement et à clair-voie, n'offrent pas chacune 2 toises quarrées, et qu'elles peuvent être frappées de mille façons différentes sans être démontées : l'on verra de l'autre part que les ricochets iront pour la plupart plonger dans le fond du fossé de la place, entre la tenaille et la gorge du réduit de la demi-lune, où il n'y a plus ni tours ni leviers à atteindre, ou vers l'épaule des contre-gardes des bastions et des demi-lunes ; sur le prolongement des fossés de celles-ci, où l'effet est tout aussi peu à redouter.

Indépendamment du peu de prise ainsi donné à des coups dirigés aveuglément, rien ne m'empêche de laisser les tours qui doivent défendre le glacis, cachées dans le fossé du corps de place derrière la courtine, où elles sont dans l'abri le plus parfait, jusqu'au moment où l'ennemi est établi dans sa troisieme parallèle. Il se trouve alors tellement rapproché de mes défenses, sur-tout s'il est au point de l'exécution des cavaliers de tranchée, qu'il est forcé de ralentir considérablement ses ricochets, et d'user des plus grandes précautions, en élevant ses coups pour ne pas atteindre ses propres gens, ses propres travaux. Alors il ne peut plus plonger sur les chemins couverts ni dans

les fossés; il faut qu'il se borne à battre les parapets. Alors donc aussi j'ai évité les trois quarts des dommages qu'il auroit pu faire aux *tours*, et je puis les mettre en batterie sans *qu'elles y soient* exposées. Cette *précaution n'offre* aucun inconvénient, puisque ces armes arrivent encore avant le tems où leur action peut être utile. Dailleurs, observons que le canon ne peut rien contre ce système de défense par son tir direct, et que les bombes sont également impuissantes si elles ne l'atteignent que par leurs éclats.

Mais, en supposant même que *quelque tour* ou levier fût démonté, cet accident seroit certainement moindre que lorsqu'il arrive à une piece d'artillerie, et seroit beaucoup plus facile à réparer. Je n'ai pas cru avoir besoin d'avertir que l'assiégé devoit avoir à sa disposition une suffisante quantité de tours et de leviers de rechange, rassemblés sur le front d'attaque aux dépens de ceux qui ne sont point attaqués, et qu'une chevre seroit toujours tenue prête à porter ces armes sur leurs points d'appui.

L'approvisionnement de ces objets pour la défense extérieure, seroit déposé, quant aux tours, dans le fossé de la tenaille; et quant aux leviers, au fond du fossé s'il étoit sec, ou sur des crochets fixés à la contrescarpe au-dessus du niveau des eaux si les fossés sont inondés. La facilité du placement d'une chevre et de l'office qu'elle auroit à remplir n'est pas douteuse même dans le dernier cas, en employant le secours des radeaux ou des bateaux plats. Nous avons déja vu que les leviers du corps de place pouvoient être enmagasinés dans leurs souterrains mêmes.

Au surplus, l'objection des atteintes n'est que la même que l'on pourroit faire à toute arme, même à de l'artillerie qui agiroit au fond du fossé, et les militaires de bonne

foi conviendont aisément que si, dans cette position, nos armes à feu étoient capables d'un effet aussi meurtrier que celui des leviers, nous pourrions penser avoir atteint tous les avantages des défenses couvertes.

37. Toujours est-il certain qu'au moment où l'ennemi se porte vers la crête du glacis, pour l'entourer et l'attaquer en force, l'on peut tout-à-coup déployer l'action de tous les leviers à la fois. Dès ce moment, chacun peut porter sa charge sur l'assiégeant, en avant en arriere de lui, le couvrir de fer, de flamme, d'éclats de bombes et de grenades, en même tems que les troupes du chemin couvert feront un feu de file bien nourri à travers les palissades, et que le feu de toute l'artillerie de la place rasera en tout sens le plan des glacis; et je répete ici qu'il y aura une bien autre vîtesse, une bien autre précision dans l'effet des artifices et des bombes confiées aux leviers, que dans le service des mortiers.

En effet, l'on sait qu'un mortier peut à peine projeter quatre bombes par heure; or il est évident qu'un levier peut faire un mouvement en arriere pour recevoir la sienne, y voir porter le feu, retourner en avant, la laisser couler, puis revenir à son magasin en moins de quatre minutes. Ainsi chacune de ces armes en projettera 15 ou 16 en une heure, et produira, sous le seul rapport du nombre de ces projectiles, un effet quadruple de celui d'un mortier. A cet avantage il ne joindra pas l'inconvénient des tems d'inaction nécessité pour le repos du métal, ni celui de voir altérer la précision de son effet, après un certain nombre de projections.

Quant à ce degré de précision, comparé à celui du jet des mortiers, il sera démontré par ce que dit l'artillerie elle-même de la grande incertitude de ce jet. Voici comme s'en exprime le Manuel de l'artilleur, qui a résumé les principes conformes aux opinions des meil-

leurs maîtres de son art, et confirmés par l'expérience depuis que les bombes sont en usage. » La manœuvre » de nos mortiers actuels demande une attention bien » plus intelligente et plus suivie que celle du canon: » c'est une arme courte, *dont la direction au but est* » *difficile à prendre*; car, pour peu que la bombe, en » sortant, s'écarte de la direction, son obliquité à sa » chûte est d'autant plus considérable que son ampli- » tude est grande. *Le degré de hauteur, la véritable* » *charge à donner, sont des choses difficiles à trouver* » *et plus difficiles à conserver. Des causes sans nombre* » *répandent de l'incertitude sur ce service : la résistance* » *de l'air toujours hétérogène; la quantité et la qualité* » *de la poudre, jamais bien proportionnées; les bombes* » *toutes à la rigueur défectueuses en poids, en figure* » *et en dimensions; la construction du mortier, celle de* » *l'affut, celle de la plate-forme, inévitablement dé-* » *rangée après le premier coup; l'impossibilité de pla-* » *cer la bombe avec précision, de façon que son axe* » *et celui du mortier ne fassent qu'un, et que tous les* » *deux soient confondus dans l'alignement au but : une* » *seule de ces causes produit des variations étonnantes.* »

Aucun de ces inconvéniens ne dérange l'effet des leviers, qu'un facile exercice apprend à diriger de manière à placer la bombe sur un point déterminé; ils épargnent les trois quarts des hommes et les neuf dixiemes des dépenses qui seroient nécesssaires au service d'un même nombre de mortiers; ils laissent la poudre à d'autres usages et projettent quatre fois plus d'objets.

Mais demandera-t-on, comment dirigez-vous cette manœuvre, pour lui donner plus de précision ? Le voici :

Sur la plate-forme de chaque tour, je place deux hommes courageux et intelligens, qui se relevent

d'heure en heure dans le commandement. Les échelons d'une petite échelle double d'un pied de largeur, donne à celui qui commande, la facilité de s'élever au point où il peut découvrir ce qui se passe sur le glacis. Dans cette position, il tient en main un petit pavillon propre à faire des signaux. Ce pavillon peut tenir au montant du levier, pourvû qu'il jouisse de la liberté de se mouvoir en tous sens. Couché de maniere à ce que sa flamme soit tournée du côté des servans qui tiennent la corde *iP* (fig. 13.) au fond du fossé, le commandant lui fait faire dans le sens horizontal un mouvement vers le côté où il veut que les servans tirent le bras *fi*, ceux-ci obéissant au drapeau jusqu'à ce qu'ils soient ainsi dans le plan vertical où l'on doit projeter la bombe, ce que le commandant leur indique par une saccade donnée au *pavillon*. Il ne s'agit plus alors que de donner au levier le degré d'inclinaison nécessaire pour que la bombe réponde au point plus ou moins rapproché situé dans ce plan, et sur lequel on veut en opérer la chûte. Ce mouvement s'indique d'une maniere analogue au premier, en haussant ou baissant la flamme de commandement; suivant que le bras *fi* doit monter ou descendre; et lorsque la position du levier est ainsi déterminée, une nouvelle saccade est le signal auquel l'un des servans doit lâcher la corde qui soutient l'armure, afin que celle-ci venant à s'incliner, le projectile coule sur le point demandé.

L'on voit qu'un léger exercice pour saisir à cette portée la situation de l'extrémité du levier et le point auquel elle répond sur le glacis, c'est-à-dire, pour juger la perpendiculaire *zw* (fig. 2.), suffit pour porter la bombe sur un point déterminé, comme avec la main. Mais se trompât-on quelquefois de 2 ou 3 pieds, à cette distance encore, une bombe de 8 pouces ou un

baril foudroyant de même poids, démonteroit une pièce de 24 et détruiroit les hommes. Il y a plus; ceux-ci n'en aborderoient pas l'effet à 10 toises au-delà du point de chûte *w*: dès que le levier se présenteroit ainsi armé en *z*, tout fuiroit en désordre. Ici le cri de *garre la bombe*, la précaution jadis usitée de se jetér ventre à terre pour l'éviter ou pour échapper à ses éclats, ne pourroient point en garantir, car sa chûte trop peu élevée ne lui permettroit pas de s'enterrer; elle éclateroit toujours à raz de terre : son effet divergent sur le plan même du glacis, porteroit sur tous les objets à la ronde, et elle ne seroit point apperçue d'assez loin, pour qu'on pût facilement se précautionner contre elle.

Que l'on ne dise pas que la manœuvre que j'indique ici, seroit un lent tâtonnement pendant lequel le commandant de la manœuvre seroit fusillé. Rien de plus limité que les arcs du mouvement du levier *i*, rien de plus prompt que le coup-d'œil et une manœuvre simple suffisamment répétée d'avance : sans doute, il pourroit arriver qu'un commandant fut atteint; mais il n'a que le feu de mousqueterie à craindre, et il peut se munir d'un pot en tête. Il est d'ailleurs très vraisemblable que si la bombe se présentoit aux yeux des ennemis avant qu'il se montrât à découvert jusqu'à la hauteur de l'œil, ils se disperseroient plutôt que de songer à l'ajuster. Plus le point de suspension sera rapproché de la contrescarpe, plus il lui sera facile en outre, de disparoître alternativement pour se soustraire au coup qu'il redoute : en derniere analyse je n'ai point promis l'immortalité physique à ceux qui seroient placés à ce poste d'honneur; mais ils pourroient, y gagner l'immortalité morale par leur fermeté et le succès de leurs manœuvres.

La manœuvre des catapultes ne demande aucune

explication particuliere; elle consiste dans la simple attention de diriger le point d'arrêt de la culier de façon à ce que le jet passe à un pied ou deux au-dessus de la crête du glacis: elles doivent suspendre leur action aux instans où elle peut nuire aux défenseurs du chemin couvert.

Le service des leviers défensifs placés à l'escarpe, peut-être plus éclairé, plus exact et plus prompt encore. J'imagine dans l'épaisseur du parapet une niche en maçonnerie, conséquemment garantie des ricochets, pratiquée immédiatement au-dessus de la voûte de chaque souterrain, et disposée de maniere que par-dessus le point c (fig. 2), l'œil du commandant, à qui je destine cette place, puisse voir tout ce qui se passe dans l'espace dont il doit embrasser la défense. A un pied ou deux en arriere du point de suspension *f*, la voûte sera traversée d'une verge de fer qui portera à ses deux extrémités deux aiguilles situées avec la verge dans un même plan vertical, dont l'une sera susceptible d'être dirigée par le commandant, et dont l'autre, répondant à l'intérieur du souterrain et suivant les mouvemens imprimés à la premiere, indiquera aux servans la direction qu'ils doivent donner au levier. Afin de déterminer d'une maniere aussi simple son degré d'élévation, l'extrémité de l'aiguille dans le souterrain regardant vers l'ennemi, repondra à un fil de fer qui, tiré par le commandant, fera monter sa pointe jusqu'à ce que le levier ait pris sa véritable inclinaison. Alors l'aiguille relâchée tout-à-coup, donnera le signal de, *projettez la bombe !*

Des moyens aussi faciles peuvent indiquer de même quand il faudra tailler, faucher, former des mouvemens vagues, pressés, dégager l'extrémité que l'ennemi auroit saisie, abandonner l'armure, charger plutôt un bari

foudroyant, un tourteau, des linges soufrés, etc., qu'une bombe; donner de l'action aux pompes, prendre du repos, se cacher à la vue de l'ennemi dès qu'il se retire et qu'on ne peut plus l'atteindre, car tout cela est bien moins compliqué, moins lent, moins obscur que le langage des signaux sur mer.

Il est donc démontré que nulle arme de jet ne sauroit, à ce degré de proximité, produire un effet égal à celui des leviers défensifs, puisqu'ils feront un service quadruple et beaucoup plus exact que celui des mortiers, qui, à cette époque de la défense, sont réduits à la nullité absolue.

Quels seroient donc les succès de l'assiégeant dans une attaque de vive force, s'il ne saisissoit pas les leviers? je n'en vois aucun; et quand à force de sacrifices et de fermeté, les ennemis seroient parvenus à occuper un instant le chemin couvert, je demande à tout ingénieur s'ils peuvent se promettre de s'y maintenir, de si retrancher sous l'action d'un double rang de ces armes, jointes à celles de toutes les défenses de la place; défenses que l'on doit se rappeler que *je laisse subsister* dans toute leur intégrité.

L'ennemi tentera-t-il dans cette entreprise de saisir les leviers? Je ne vois pas quels seroient ses moyens; car si je le vois en assez grand nombre pour se précipiter sur eux malgré ce qui peut en arriver, je les manœuvre en conséquence: je tiens leur extrémité à 10 pieds de hauteur au-dessus du point du glacis qu'occupe l'assaillant, et de-là je projette sur lui mes bombes sans me mettre à sa portée, de-là je laisse tout-à-coup tomber mon énorme cimetere qui peut encore pourfendre un homme de la tête jusqu'au talon: je puis même me tenir à 14 ou 15 pieds d'élévation et frapper encore dans un rang d'hommes qui n'auroient que la taille de 5 pieds.

Je

Je ne pense pas que c'est ici le moment où ceux qui croient à la facilité de saisir cette arme, auront pu préparer leurs lacets et tous les tours de force ou d'adresse qu'ils penseroient pouvoir déployer. Avanceront-ils avec ces échafaudages appelés *accroche-leviers*, imités des anciens, et que le canon de la place briseroit au même instant, tandis que de mon côté je ne les aborderai pas ou leur échapperois par la rapidité de mes mouvemens. Verrois-je placés à découvert, et sous les défenses mêmes des leviers, ces mortiers, ces catapultes, qui doivent lancer par-dessus mes armes des boulets enchaînés afin d'en abattre l'extrémité par leur chûte? Il seroit étonnant que, sans donnée pour cette singuliere projection, l'on prétendît, dans une position pareille, maîtriser des moyens qui dominent, qui s'exercent à couvert et dans un cercle assez vaste pour qu'il soit impossible de saisir le point où le levier sera soumis à l'action qu'on oppose. La nature même de cette attaque prouve qu'il n'en est point de redoutable contre mon système, dans l'ordre du dispositif d'une attaque de vive force.

Si je n'ai point de chemin couvert, cette attaque n'a plus d'objet; et s'il est vrai de dire que la prise de cette partie d'une fortification décide *ordinairement* de la reddition d'une place, parce que les breches la suivent de près, et que toutes les ressources de la défense, telles puissantes qu'elles soient encore aux yeux des guerriers fermes et éclairés, s'attenuent alors à ceux des hommes qui ne sont guidés ni par les mêmes sentimens ni par les mêmes lumieres: il est par cela même démontré que la façon la plus sûre pour empêcher un chemin couvert d'être pris et occupé, *c'est de n'en point faire;* mais de couvrir d'autant mieux la place, de rapprocher l'ennemi de quelques armes meurtrieres dont il soit forcé de triompher alors que

son canon ni sa mousqueterie ne peuvent plus rien contre elles ; enfin de remplacer l'avantage des chemins couverts par des galeries en bois prises en arriere, qu'on peut rompre et rétablir à volonté, et *sur lesquelles en aucun cas, l'assiégeant ne peut former d'établissement.* Peut-être, je le répete, n'y a-t-il pas une objection raisonnable contre cette idée, sur-tout si je la renforce par l'effet des bonnettes aux saillans.

Je pense que, dans le cas de l'existence d'un chemin couvert et d'une bonnette, ainsi que nous en avons donné le tracé, fig. 4, l'ennemi devroit borner une entreprise de vive force, *s'il croit devoir s'y déterminer*, d'abord aux seuls saillans, dans l'espoir de se former un établissement derriere la bonnette. Pour cet effet, il aura puissamment ricoché cet espace avant de marcher pour s'en emparer.

La maniere la plus sûre de contrarier ces attaques, seroit, pendant l'action des ricochets, de ne laisser qu'une sentinelle au saillant *F* pour observer l'ennemi, et de retirer la garde de cette partie de chemin couvert dans l'espace couvert des deux côtés, entre les traverses et les extrémités des branches de la bonnette, même dans un corps-de-garde souterrain qui pourroit être pratiqué sous la bonnette même ; les ricochets ne briseroient alors que les palissades, qu'il faudroit remplacer le mieux et le plus exactement que l'on pourroit en tenant des palissades ou des chevaux de frise tout prêts.

Ce n'est qu'à l'instant où l'attaque se formeroit que les gardes marcheroient sur l'ennemi en se développant parallèlement à lui, et joignant derriere les palissades leur défense aux feux de la place et à l'action des leviers.

L'assaillant l'emportât-il même, il se maintiendroit difficilement dans cet espace, il établiroit plus difficilement encore les batteries qui pourroient battre la bon-

nette en breche; enfin, plus difficilement encore, établiroit-il cette breche, la débarrasseroit-il assez de la masse énorme des ses décombres pour pouvoir ouvrir à travers de cette masse des embrasures propres à découvrir le revêtement, les embrasures et les leviers. Le succès de cette opération suppose un établissement de batterie, d'épaulemens, d'embrasures, malgré la réunion sur ce point de tous les moyens imaginables de défense, parmi lesquels je compte essentiellement l'usage des contre-mines.

Une derniere observation qui ne doit pas échapper, parce qu'elle est de la plus haute importance, c'est qu'il résulte du tracé que je propose, fig. 1, que le prolongement des flancs des bastions et des tenailles tomberoit dans les bonnettes que je suppose placées en avant des saillans des places d'armes rentrantes; et que ces bonnettes, établies dans un rentrant parfaitement flanqué, peuvent avoir assez de relief pour défiler des ricochets cette double defense, ensorte que leurs batteries conservent toute leur intégrité, ne pouvant être atteintes ni de front ni de flanc. Cette circonstance renforce considérablement la défense des bonnettes des saillans des bastions et de leurs contre-gardes : elle ajoute un flanc de plus à la fortification.

Le même défilement s'obtiendroit en exhaussant les contre-gardes vers leurs flancs, qui débordent les angles d'épaule des bastions.

38. Disons donc 1°. que l'ennemi mieux avisé, prendra une marche plus prudente; et voyons ce que nous opposerons aux progrès de la sape, qui forme la seconde maniere d'attaquer dont nous avons entrepris l'examen.

2°. Le relief du glacis tel que je le suppose, couvre parfaitement les contre-gardes des bastions et des demi-lunes : c'est la condition essentielle de mon système. Je n'ai donné dans les profils, fig. 2 et 3, que 18 pouces

à la plongée, sur 18 pi. d'épaisseur au sommet du parapet du corps de place : le plan du glacis est déterminé d'après la même pente.

Cela posé, la ligne intérieure du parapet de la tranchée étant supposée tracée à la distance de 18 pieds de la crête du glacis, le sol du glacis, pris au pied de ce parapet, sera à 18 pouces au-dessous de sa crête, et le canon de breche qui auroit cette ligne du sol pour genouillere, devant chercher à atteindre le point *f*, fig. 2, pour détruire les embrasures et les leviers, devroit ainsi plonger de 11 pieds au-dessous du sommet *c* du mur de parapet. Or, comme il y a 30 pouces de pente de *c* au sommet du glacis, il faudroit donc que le tir du canon plongeât de 7 pieds au-dessous du point *a* de la genouillere, et conséquemment que l'embrasure fût coupée dans le sol du glacis, le révêtement et les contreforts de la contrescarpe, d'une profondeur de 3 pieds 10 pouces, pris au sommet de ladite contrescarpe. Et comme la profondeur de cette même embrasure seroit au moins de 3 ½ pieds pris dans le parapet de la tranchée, au-dessus de la crête du glacis, il en résulteroit que l'embrasure auroit plus de 7 pieds de profondeur, et qu'elle devroit avoir au moins 14 pieds d'évasement du côté de la place.

Ainsi, indépendamment de la tranchée, c'est ce travail énorme qu'il faudroit exécuter sous l'atteinte, à bout touchant, des leviers et de tous leurs mouvemens destructeurs; et cependant ce travail est le moindre que l'ennemi puisse entreprendre, car, à mesure qu'il tiendroit sa tranchée plus éloignée, il augmenteroit considérablement sa tâche, sans qu'il pût se dispenser d'arriver dans cet espace.

Il est impossible de croire qu'il pourroit parvenir à l'exécuter autrement que par le moyen de la sape; et

combien la lenteur de cette opération, sur-tout quand elle est dirigée de bout vers la place, ne donne-t-elle pas de prise à l'action des leviers? l'inspection seule de la fig. 15 démontre que sur chaque tête de sape, pourroient se réunir plusieurs de ces armes : deux leviers d'escarpe, deux tours, quatre catapultes. Quelle succession rapide de bombes, d'artifices, de pierres, d'atteintes en tous sens, cette réunion sur des points déterminés, peu nombreux, ne produiroit-elle pas! Et contre qui ces effets seroient-ils dirigés? contre quelques travailleurs qui ne demandent que des prétextes pour fuir et ne pas revenir de long-tems. Les fréquentes, les longues interruptions, l'abandon même du travail, en seroient bientôt la suite inévitable, au moins pour tout le tems que les leviers conserveroient leur puissance.

39. Pendant ces abandons périodiques de la sape, ce seroit le moment de substituer aux bombes et aux artifices, la pioche *fg* (fig. 6), pour détruire les parapets deja achevés, renverser, enlever les gabions de la tranchée : ce seroit sur-tout celui d'une sortie faite avec un grand nombre de travailleurs, pour la raser tout-à-fait. La pioche *fg* emploiée contre la tête des sapes, même dans les instans du travail, produiroit un grand effet pour en empêcher les progrès. A la bêche, l'on pourroit quelquefois substituer une fourche, un crochet, un grapin, pour saisir et enlever les fascines, les sapeurs eux-mêmes. Le mouvement que l'on peut imprimer à la lame, suffit pour opérer ce genre de destruction, la dissémination des terres et des matériaux de l'assiégeant. Les pompes produiroient à plus forte raison ici l'effet qu'elles ont produit sur les sapeurs de Strasbourg, et s'ils revenoient à leurs travaux, c'est dans une mer de boue, dans un étang qu'il faudroit qu'ils cheminassent.

Mais en supposant que l'assiégeant parvienne enfin à

conduire ses canons dans la tranchée établie en *a*, c'est alors qu'il seroit exposé au danger évident de les voir tous démontés par les bombes de 8 pouces à charges pleines, que les leviers porteroient jusque sur leurs affûts et près de leur rouage, long-tems avant qu'ils fussent en état de tirer. Leur arrivée dans la tranchée ne peut pas être un secret pour l'assiégé, puisque de nuit même il voit tout ce qui se passe à cette distance, au moyen des feux que portent ses leviers défensifs et que l'ennemi ne peut éteindre. Ici comme précédemment, le jeu des pompes contrarieroit également leur établissement, leur service; et l'on n'échapperoit à aucun des effets que j'annonce, tant que mes leviers conserveroient de l'activité : fussent-ils réduits à la seule fonction de projeter des bombes, des tourteaux, du soufre, de diriger les colonnes d'eaux, d'éclairer les travaux pour les découvrir au feu d'artillerie et de mousqueterie de la place, ils seroient encore assez puissans pour vaincre la plus grande opiniâtreté: or, dans toutes ces fonctions, ils peuvent être tenus dans une élévation assez grande pour être hors de portée de tous les tours de force ou d'adresse par lesquels on veut supposer qu'ils pourroient être saisis et rompus.

L'enneni sera donc forcé de se retirer, de découvrir de nouveau *le feu de ses batteries de ricochet* (1), et d'essayer d'atteindre à l'aveugle ces instrumens qu'il ne peut détruire autrement.

Dès que l'assiégé s'appercevra de cette retraite, et avant que l'objet lui en soit annoncé par une premiere décharge générale de l'artillerie de la deuxieme parallele, il devra retiter tous ses leviers, afin que rien ne s'offre plus au-dessus de la crête du glacis. En général, les

(1) Je les appelle ainsi, quoique tous les ouvrages soient, dans mon tracé, à l abri des prolongemens.

leviers ne doivent paroître que lorsque leur action peut être très utile; mais dès qu'ils peuvent se livrer au repos, ils doivent s'anéantir aux yeux de l'ennemi. Avec cette précaution, le peu de l'argeur des fossés sera un puissant empêchement à ses atteintes, la plupart réduites à des coups directs, à l'incertitude du jet desbombes et des obus, au hazard de les porter loin des surfaces d'une petitesse extrême que lui présentent les leviers.

Si l'on vouloit supposer que l'ennemi, vainqueur de tant de difficultés, s'établira enfin au point *a* (fig. 2.), et que son canon détruira les tours et les leviers des premiers fossés, un nouvel embarras l'attend. Ses embrasures n'ont encore que la profondeur nécessaire pour atteindre celles de l'escarpe; mais, s'il veut battre en breche, en supposant qu'il se contente d'atteindre seulement au tiers de la hauteur d'un revêtement de 30 pieds, il faudra que ses coups plongent à 8 pieds au-dessous du sommet de la contrescarpe (dans le cas où il n'y a pas de chemin couvert), alors sa ligne de tir sera inclinée de 23° sous l'horizon, et frappera conséquemment un revêtement construit d'à-plomb, sous un angle de 67° (1). Je demande à l'artillerie si ce surcroi de travail est facile? Si cette position est soutenable?

Sans doute il faudra en chercher en arriere une plus favorable à son effet ; ce seroit donc une seconde tranchée à faire.

Si la position de cette nouvelle tranchée doit être déterminée pour le meilleur service des batteries, qui doit être le principal but de son établissement, il faudra la

(1) Ces sortes d'évaluations sont faites ici d'une façon purement graphyque, n'ayant pu prendre le tems de les calculer géométriquement : c'est ce que tout officier du génie ou de l'artillerie peut faire pour les rectifier.

mettre à une distance telle que la ligne de tir ne plonge pas au-dessous de 10°. Cette condition la rejette au point *ff*, où il faudra qu'elle coupe la contrescarpe à 13 pi. de son sommet. Dans ce cas, l'assiégeant se sera dispensé de faire la tranchée en *a*, et celle en *ff* (située hors de l'atteinte directe des leviers, mais encore soumise à l'éclat des bombes, des barils foudroyans, à l'inondation des pompes), sera le seul objet de son travail de couronnement.

Cependant, il faut l'avouer, il seroit peut-être ridicule de lui supposer cette résolution, puisque, dans ce cas même, il faudroit toujours qu'il revînt et cheminât plus lentement dans le domaine de mes leviers défensifs.

Il n'aura donc que le choix entre l'affreuse position de sa tranchée et de son artillerie en *a*, ou la ressource de renverser la contrescarpe pour démasquer son tir depuis le point *ff*, *par le moyen des mines*. Il prendra donc nécessairement ce dernier parti, puisque le premier n'offre aucune probabilité de succès, à moins qu'il veuille y sacrifier toute l'élite et la moitié de ses troupes.

C'est en quoi consiste la solution du probléme que je me suis proposé.

Si j'ai conduit l'assiégeant à la *nécesité de m'attaquer par les mines*, alors même que je n'ai point de contre-mines à lui opposer; si chacune de ses embrasures exige de lui un grand travail souterrain; si je le force ainsi à s'embarrasser dans ses propres décombres; combien des eaux qui ne lui permettent pas de s'enfoncer, combien des contre-mines bien disposées, courageusement et savamment défendues, n'ajouteroient-elles pas à ses déboires!..... A peine un premier entonnoir seroit-il formé après avoir triomphé de toutes mes dispositions souterraines, s'il n'a pas renversé la contrescarpe, ce puits devient pour lui le réceptacle de tous les artifices,

de tout le méphétisme que j'y puis réunir avec les leviers.

Cependant il faudra qu'il chemine sur chaque direction d'embrasures par une ligne de globes de compression successifs. S'il arrive enfin en *b* (fig. 2 et 16.), et qu'avec une surcharge il produise à la profondeur $d'b'$ le plus grand entonnoir possible $a' b' e$, il n'aura pas entamé la contrescarpe ; il lui restera encore à enlever par la sape les massifs de maçonnerie et de terres $a'b'e'$, $ebff$, dont une partie est située sous les leviers. S'il s'enfonce plus bas et s'approche davantage de la contrescarpe vers le point c', il pourra, avec une surcharge, produire non seulement l'entonnoir $a' c' m$, mais aussi l'éboulement de la partie supérieure $a' d' c'$, ensorte qu'il en résulteroit au plan (fig. 16.) le vuide $a d' f$, qui, pour devenir une embrasure pour l'artillerie placée dans la position *e* prise en avant du domaine des leviers, auroit encore besoin d'une grande excavation faite à la sape et toujours sous les leviers, pour faire aboutir cette coupure à la tranchée.

Remarquez que, pour arriver à ces points, il auroit laissé le dessous aux mineurs assiégés, et qu'il auroit agi de cette façon contre tous les principes de la guerre souterraine.

Si, pour ne pas courir tous les dangers qui seroient la suite d'une conduite aussi pressée, il s'enfonce jusqu'au point *f* pris au niveau du fossé supposé sec ; d'une part son travail sera considérable pour triompher des camouflets et de toutes les chicanes souterraines, de l'autre la grandeur de son entonnoir le forcera à établir sa tranchée et ses batteries en *gg*, dans l'énorme tas de décombres de sa mine, peut-être même en *hh*, derriere ces mêmes débris ; alors encore il sera obligé d'achever d'abattre à coups de canon la partie du triangle $a' f' m$ (fig. 2.), qui seroit restée sur pied ;

alors enfin il faudroit qu'il joignît ces entonnoirs à la tranchée *gg*, par des coupures faites à la sape, pour démasquer toutes ses embrasures.

L'immensité de ce travail, les difficultés, les longueurs, l'incertitude du succès, n'échapperont sûrement pas aux officiers connoisseurs et expérimentés dans la guerre des sieges : et si, à force de tems et de sacrifices, l'assiégeant établissoit enfin ses batteries de breche en *gg*, il faut convenir que l'objet de mon problême n'en auroit pas moins été complettement rempli.

40. A cette époque des attaques, les leviers et les tours du premier fossé seront retirés ou détruits. Mais une nouvelle difficulté se présente au canon de breche : les revêtemens des contre-gardes sont construits en arceaux de décharge, ainsi qu'on le voit à la figure 16 ; et chaque petite voûte, chaque pierre de son cintre demande des coups de canon particuliers et redoublés. Enfin, lorsque ces arceaux sont détruits, les voûtes des souterrains se présentent encore intactes sur leurs pieds-droits, et pour les abattre il faut saper ceux-ci par des coups obliques, d'un effet très lent. Sans cette derniere destruction, les parapets des contre-gardes demeurent suspendus en l'air ; il n'y a point de breche praticable, point d'accès pour arriver sur le terre-plain de l'ouvrage.

Au lieu de s'attacher à ruiner les pieds-droits, l'ennemi préférera peut-être de faire agir son artillerie à travers les souterrains, après en avoir détruit le mur antérieur formant le revêtement de la gorge des contre-gardes, afin de faire breche ensuite au corps de la place, sans changer la position de ses batteries, qu'il cherchera préférablement à diriger sur les embrasures et les leviers établis en *B*.

41. Pour le gêner dans cette entreprise, je lui

oppose une construction très solide que le canon ne détruira que lentement et d'une maniere imparfaite. Cette construction consiste, 1°. à donner de la convergence à tous les joints verticaux du revêtement *zu*, en les faisant concourir en une ligne projetée au point *w*, qui est le sommet d'un triangle équilatéral, auquel je donne la largeur *zu* du souterrain pour base. Ainsi, tous les coups frappant de *y* vers *w*, ne produiront la démolition qu'autant que chaque assise (que je suppose en pierre de taille d'une piece, sur toute l'épaisseur du mur) sera mise en poudre ; et, pour la renforcer de plus en plus, j'ajoute à cette résistance, qui est celle des voûtes poussées vers leur centre, celle qu'on peut tirer du boulonnage en fer, des assises que l'on peut sceller ainsi l'une sur l'autre, et de crampons doubles solidement scellés avec du plomb, pour joindre entre elles toutes les pierres d'une même assise. Indépendamment de ces liaisons qui en forment un ensemble, je couvre ce mur du côté de l'ennemi, d'un bouclier plus susceptible encore de résistance. Ce sont quatre rangs de poutres de chêne, fortement serrées l'une à l'autre et contre le mur, cramponnées et boulonnées comme les assises dont je viens de parler, puis recouvertes d'une sorte de grillage de fortes bandes de fer recroisées et scellées dans la maçonnerie. Tout cela demande que le mur *zu* soit bien soutenu par des ancres qui le lient aux pieds-droits. La figure exprime cette construction en *u*, *y*, *z*.

Cependant, si l'ennemi parvenoit à la détruire, ou s'il logeoit son canon dans les souterrains mêmes ; alors des fourneaux pratiqués au-dessus des voûtes, et qu'il ne m'ôteroit point la faculté de faire agir, puisque je suis encore maître du rempart, démoliroient ces voûtes, et feroient tomber toute la masse du rempart dans leur

vuide. Cette chûte obstruant nécessairement la direction du canon de breche, formeroit une épaisse traverse au corps de place, et aux objets destinés à sa défense ; l'ennemi ne pourroit plus atteindre le revêtement qu'au-dessus des embrasures des leviers.

L'assiégeant ainsi forcé de venir s'établir sur ces décombres, après tous les dangers de la dispute du passage du fossé, retrouvera tous ceux des leviers qu'il a surmontés à la contrescarpe : il y sera établi sur un volcan de petits fourneaux dont une galerie majeure facilitera l'établissement sous les breches, à moins qu'il n'ait fouillé tout ce terrain et qu'il en ait chassé les mineurs de l'assiégé avant de s'y établir, *supposition qui le ramene constamment à mon objet.*

La nécessité de cette guerre existera également pour lui, si, au lieu de chercher à s'établir dans l'espace trop étroit de 33 pieds, qu'il trouve sur les débris de la contre-garde, supposés entassés par l'effet du canon, il préfere attacher un mineur dans chaque souterrain; et, en définitif, il ne produira que la même démolition que l'assiégé eût opérée lui-même pour former un plastron à son corps de place.

42. Toujours forcé de presser davantage la prise de la demi-lune, pour se débarrasser d'un flanc qui s'oppose à celle du bastion, l'assiégeant arrive ordinairement plutôt sur la demi-lune que sur le bastion. La nécessité de lui disputer le plus long-tems possible ce flanc qui le gêne, et d'y employer les mêmes moyens que je propose pour les contre-gardes, force d'établir un réduit aux demi-lunes, ce qui présente au centre des fronts une triple enceinte d'ouvrages extérieurs. Cette disposition donne la certitude que jamais l'on ne tentera de mettre en breche la tenaille ni ses flancs, puisque ces parties ne pourroient être battues par

aucune trouée, et que l'ennemi, s'il s'établissoit sur la tenaille, après avoir enlevé trois ouvrages, ne seroit pas plus avancé que sur les contre-gardes des bastions.

43. Je ne parle pas ici de la défense des réduits des places d'armes rentrantes, des retranchemens dans les bastions, ni de celle des cavaliers. Je ne développe pas non plus la différence des obstacles que l'ennemi doit vaincre, dans le cas de l'existence d'un chemin couvert, comparés à ceux qu'il éprouve dans le cas contraire; la comparaison des deux profils (fig. 2 et 3.), conduit à la connoître. Enfin, je ne dis rien en particulier de la dispute des breches, de l'emploi des petits chars armés de piques et de faux pour la défense des fossés secs. J'abandonne la suite de cette discussion et des nombreux détails que j'ai omis, à ceux qui voudront peser pied à pied mon système de défense. Comme je ne les suppose pas aux élémens de la fortification, ils sauront comparer mes principes à leurs objections, sinon avec plus de bonne foi, du moins avec plus de lumieres que je n'en ai pu employer pour peser les uns et les autres.

Dépense de cette disposition.

La seule difficulté qui me reste à prévenir, c'est celle du prix numéraire et matériel des constructions que je propose. Cette derniere discussion sera courte.

Le nombre des souterrains que ma méthode exige peut d'abord effrayer. J'observe à cet égard que ces souterrains naissent d'eux-mêmes de l'application de l'excellente méthode de la construction des revêtemens en décharge, et de la suppression des talus et des contre-forts. Cette construction discutée dans la derniere séance du comité des fortifications dont j'étois membre, a été reconnue non seulement pour la plus économique

et pour la plus solide, mais pour celle qui oppose la résistance la plus désespérante à l'établissement des breches. Trois rangs de souterrains placés par étages l'un sur l'autre, ne présentent pas la dépense qui résulte des anciens usages.

Je ne propose donc ici que la meilleure maniere de tirer parti de cette construction, qui, d'aprè l'avis du comité, sera vraisemblablement généralement adoptée.

Avantages généraux et actuels du systême des leviers défensifs.

44. 1°. L'on voit qu'ils peuvent être appliqués à la défense de tous les glacis, de toutes les contrescarpes existantes, pourvu que les chemins couverts soient réduits à 15 pieds de largeur.

2°. Qu'ils peuvent également l'être aux escarpes, lorsque les fossés n'ont que 30 pi. de largeur, pourvu qu'on y pratique des souterrains.

3°. Qu'ils peuvent l'être encore aux contre-gardes bien construites, eussent-elles même 6 ou 7 toises de largeur.

4°. Que ce systême étant en quelque sorte indépendant des configurations de la fortification, peut convenir à tous les tracés, pourvu qu'ils soient flanqués.

5°. Que ce même systême est applicable à la défense des retranchemens de campagne, en réduisant les leviers à 30 pieds de longueur.

Perfection dont ces moyens sont susceptibles.

45. Nous avons supposé que le *maximum* de la longueur d'un levier destiné à la défense des places, étoit une longueur de 90 pi.; mais l'expérience prouveroit vraisemblablement que ces leviers peuvent avoir

jusqu'à 120 pi. de longueur, et étendre d'autant plus loin leur effet. L'on pourroit alors augmenter proportionnellement la largeur des fossés, et joindre cet avantage à celui de leur profondeur, et à celui d'atteindre l'ennemi de plus loin. En derniere analyse, c'est toujours à l'expérience que j'en réfere : puisse le gouvernement la consulter ! Il est démontré qu'il le peut sans compromettre aucun intérêt.

L'on dira peut-être que je n'ai point assez fait entrer le moral des hommes dans le calcul de la constance, et de la fermeté avec lesquelles je suppose qu'on mettra mes moyens en usage. Je réponds à cela qu'une *puissante addition de défense* ne peut tendre qu'à fortifier le courage, et qu'il n'est point d'armes pour des mains qui n'en veulent point faire usage.

FIN.

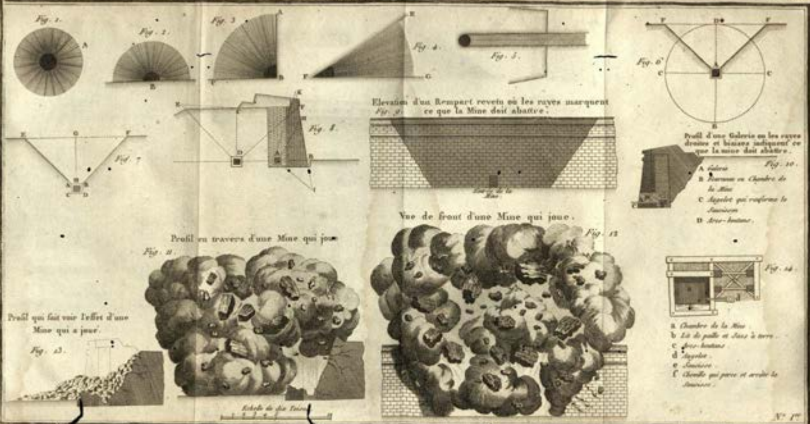
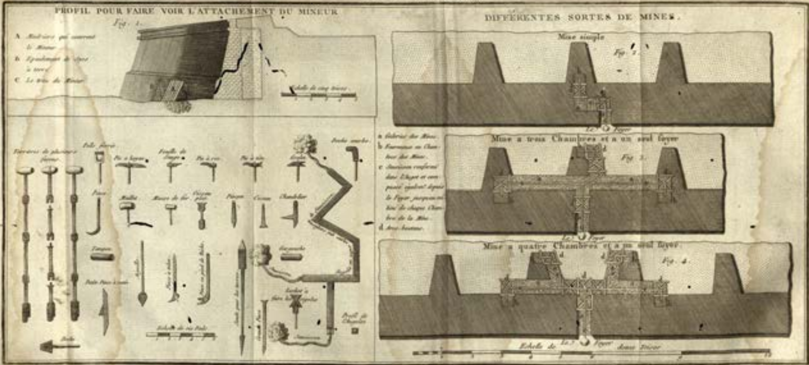
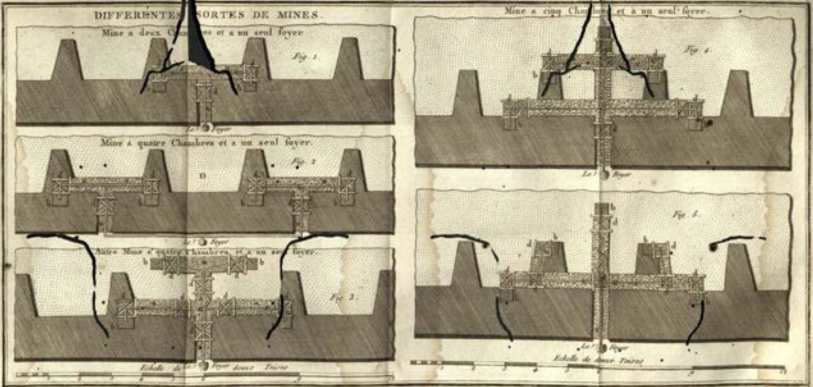
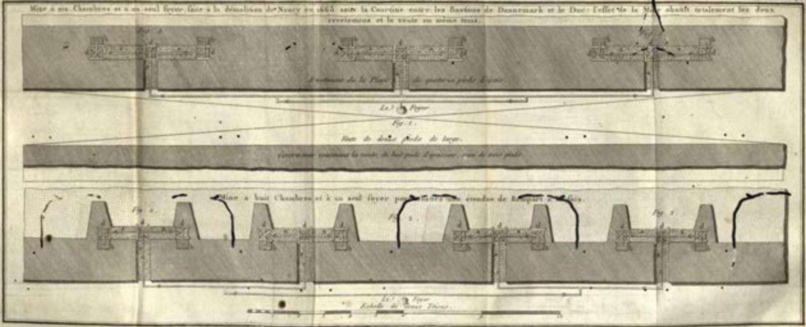
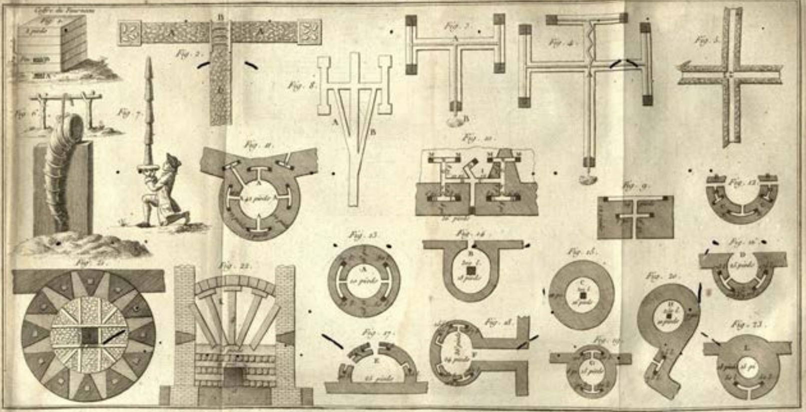


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7
Fig. 8
Elevation d'un Rempart revetu où les rayes marquent
Fig. 9. ce que la Mine doit abattre.
Profil d'une Galerie ou les rayes
droites et biaises indiquent ce
que la mine doit abattre.
Fig. 10.
A Galerie
B Fourneau ou Chambre de la Mine
C Augelet qui renferme la Saucisson
D Arcs-boutans.
Vue de front d'une Mine qui joue.
Fig. 12
Profil en travers d'une Mine qui joue
Fig. 11
Profil qui fait voir l'effet d'une
Mine qui a joué.
Fig. 13.
Fig. 14.
a Chambre de la Mine.
b Lit de paille et Sacs à terre.
c Arcs-boutans.
d Augelet.
e Saucisse.
f Cheville qui perce et arrête la Saucisse.
Echelle de dix Toises


PROFIL POUR FAIRE VOIR L'ATTACHEMENT DU MINEUR
Fig. 1.
DIFFÉRENTES SORTES DE MINES.
Mine simple
Fig. 2.
Mine a trois Chambres et a un seul foyer
Fig. 3.
Mine a quatre Chambres et a un seul foyer
Fig. 4.
Le Foyer
Echelle de
Chandelier
Pioche
Pinçon


DIFFERENTES SORTES DE MINES.
Mine a deux
et a un seul foyer
Fig. 1.
Le Foyer
Mine a quatre Chambres et a un seul foyer.
Fig. 2.
Le Foyer
Autre Mine a
et a un seul foyer.
Fig. 3.
Echelle de
Foyer
douze Toises
Mine a cinq
et a un seul foyer.
Fig. 4.
Le Foyer
Fig. 5.
Le Foyer
Echelle de douze Toises


Mine à six Chambres et à un seul foyer, faite à la démolition de Nancy en 1663 sous la Courtine entre les Bastions de Dannemark et le Duc: l'effet de la Mine abattit totalement les deux revetemens et la voute en même tems.
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Echelle de douze Toises


Coffre du Fourneau
Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Fig. 13.
Fig. 14.
Fig. 15.
Fig. 16.
Fig. 17.
Fig. 18.
Fig. 19.
Fig. 20.
Fig. 21.
Fig. 22.
Fig. 23.

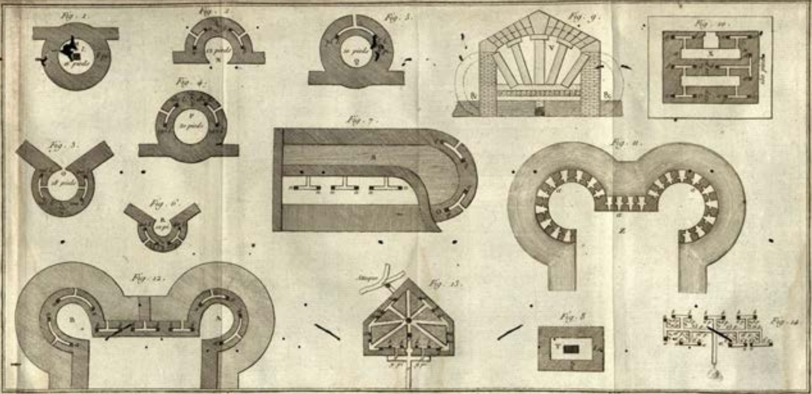


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 5.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 4.
Fig. 3.
Fig. 7.
Fig. 11.
Fig. 6.
Fig. 12.
Attaque
Fig. 13.
Fig. 8
Fig. 14.

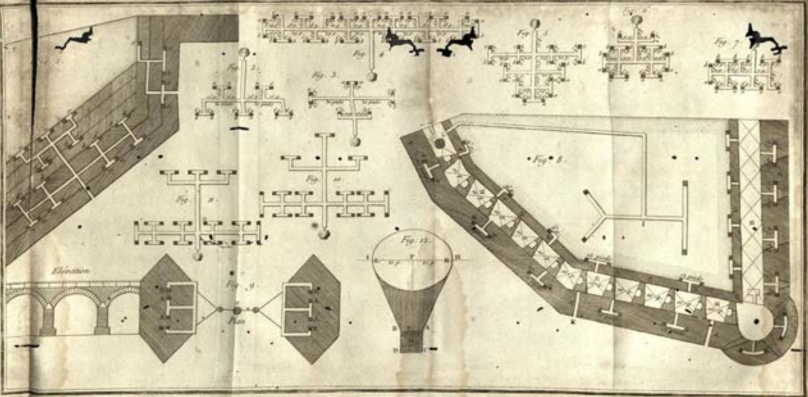


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Fig. 11.
Fig. 12.
Elévation
Plan

Fig. 1re

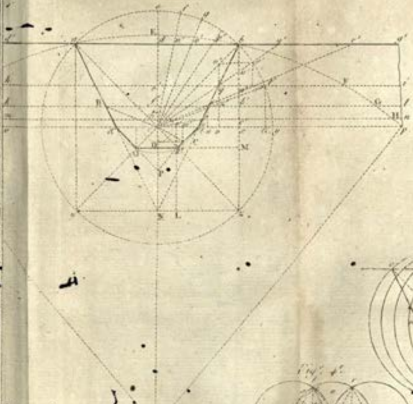


Fig. 2e

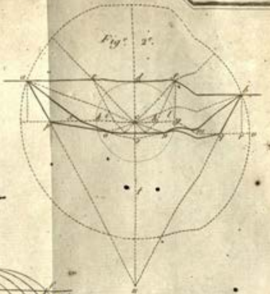


Fig. 3e

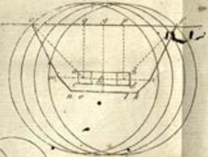


Fig. 4e

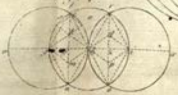
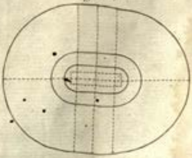


Fig. 5e



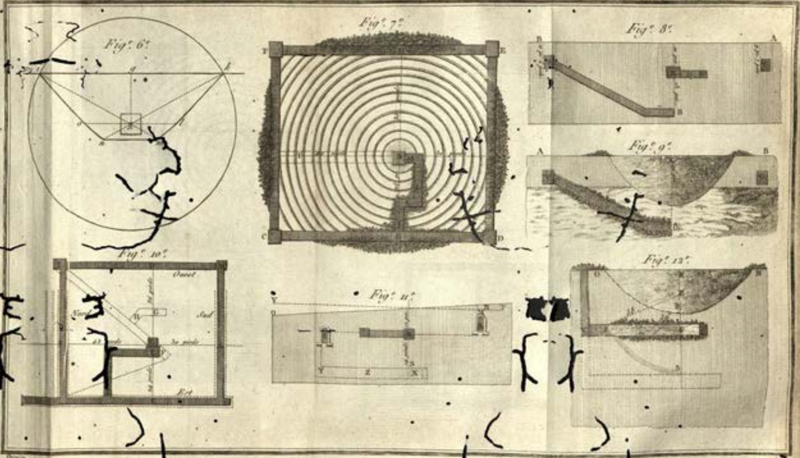


Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.
Fig. 10.
Ouest
Nord
Sud
Est
Fig. 11.
Fig. 12.

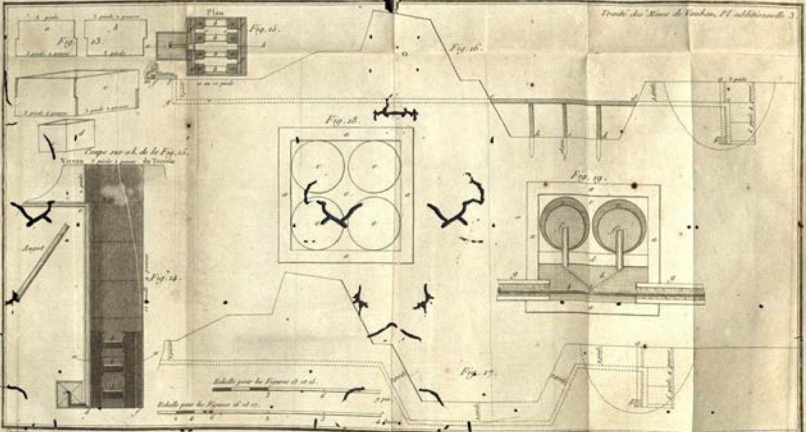


Fig. 13.
Plan
Fig. 15.
Fig. 16.
Fig. 18.
Coupe sur a.b. de la Fig. 15.
Auget
Fig. 14.
Fig. 19.
Fig. 17.
Echelle pour les Figures
Echelle pour les Figures

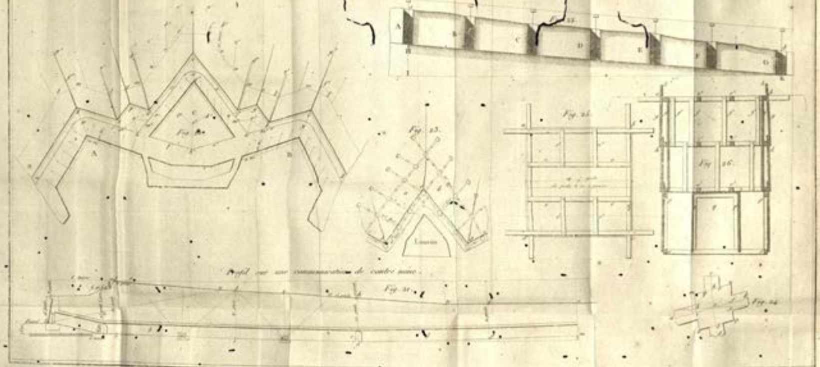
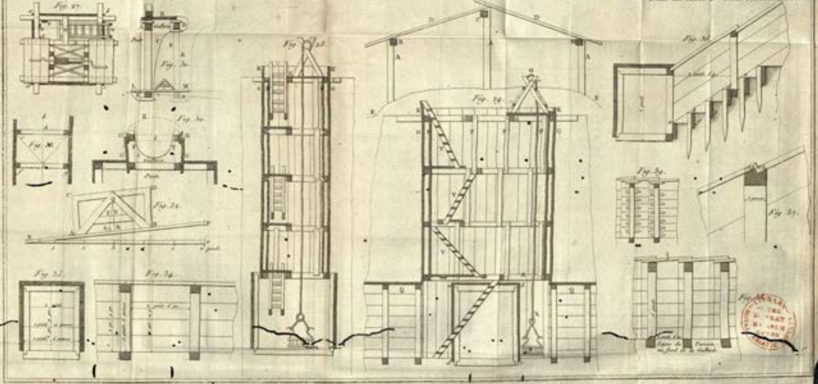


Fig. 22
Fig. 23
Fig. 25
Fig. 26
Lunette
Profil sur une communication de contre mine.
Fig. 21
Fig. 24



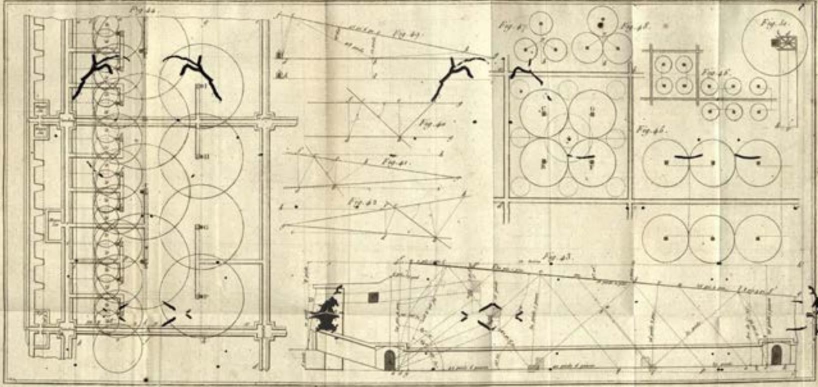
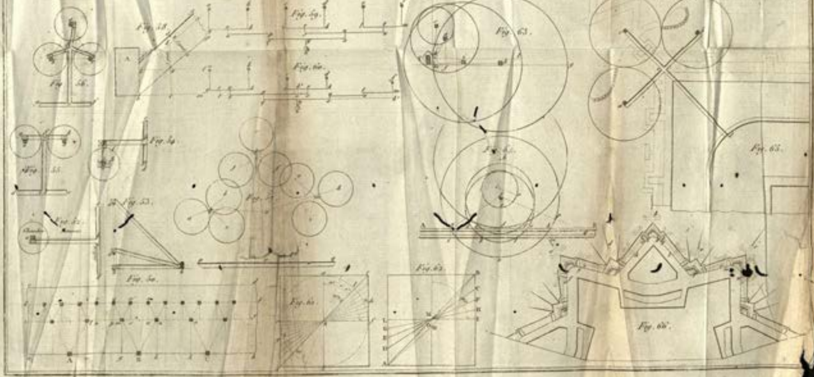
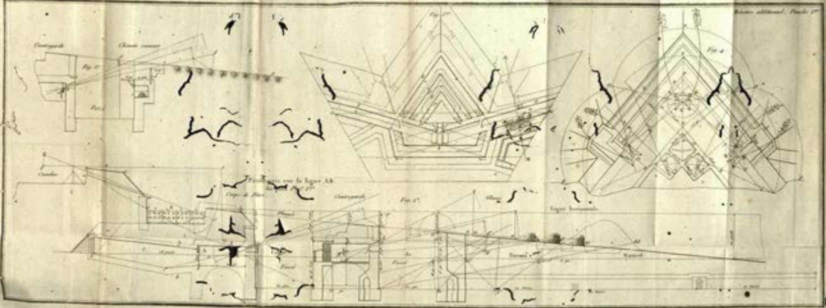
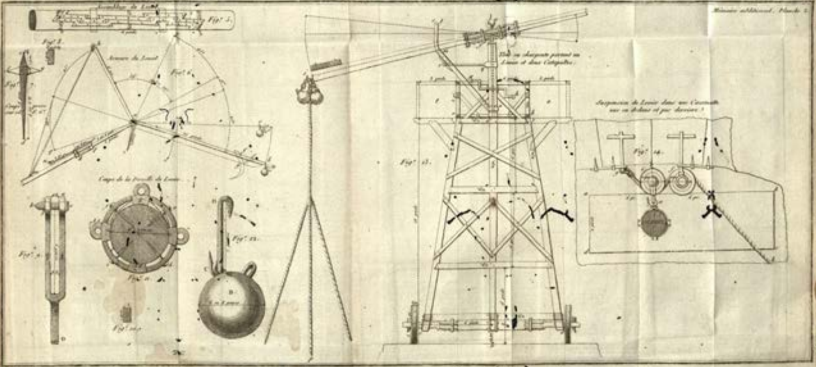
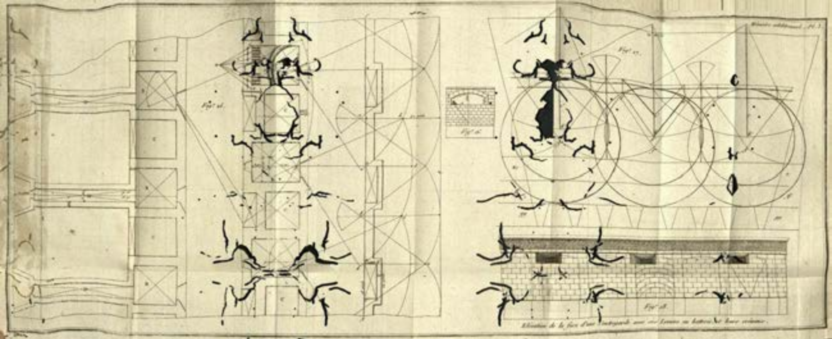


Fig. 44.
Fig. 39.
Fig. 40.
Fig. 41.
Fig. 42.
Fig. 43.
Fig. 47.
Fig. 48.
Fig. 45.
Fig. 46.
Fig. 50.









LX·e-11 106557

Traite des Mines.

B 14/6/61 10 AUG. 1961

C 13 1329

00106557

Digitized with financial assistance from
Shri Brihad Bhartiya Samaj
on 31 October, 2019